Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Science Research DOI: 10.22092/IJWPR.2023.362084.1753
Vol. 38, No. 4, Page 266-280 (2023)

Comparison of individual and combined effect of nanosilica and cationic additives on the optical properties of the white packaging liner

Jafar Ebrahimpour-Kasmani[1], Ahmad Samariha[2] and Alireza Khakifirooz[3]

1*-Corresponding author, Associate Prof, Department of Wood and Paper Science & Technology, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran, Email: jafar_kasmani@yahoo.com
2-Assistant prof., Department of Wood Industry, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran
3-Assistant prof., Faculty of Chemistry and Petrochemical Engineering, Department of Cellulosic Materials and Packaging, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran

Received: April 2023 Revised: June 2023 Accepted: June 2023

Abstract:

Background and objectives: Waste paper recycling utilization has been increasing in Iran and world paper industries which offers many benefits to the environment and humans. Municipal waste is also reused after recycling processes. Cardboard recycling industry has great environmental and economic importance and helps overcone the lack of wood resources and high demand for paper products. It plays an important role in the development of paper-related industries. However, recycling can be associated with the reduction in the optical properties of the paper. The use of nanoparticles in the paper industry is also expanding gradually. Nanosilica is one of the most important nanoparticles which is used as a retention aid in the paper industry. In order to reduce the consumption of long fibers and obtain the desired optical properties, the use of nanosilica alone or in combination with other materials such as cationic starch and cationic polyacrylamide is investigated. The purpose of this research is to compare the effect of individual and combined use of nanosilica additives, cationic polyacrylamide, cationic starch and long fibers on the optical properties of white liner paper pulp.

Methodology: In this study, white paper pulp with the brightness of at least 78% and the gloss of at least 45% was used to prepare handmade paper sheets. Long fiber kraft chemical pulp from coniferous wood imported from Russia with the brightness of 89% was used in the laboratory paper sheet making. Nanosilica powder ($NanoSiO_2$) (Degussa), Germany, cationic polyacrylamide (Farinret K325 brand, Degussa, Germany), and cationic starch (LyckebyAmylex, Slovakia) were used. Independent treatments included the addition of 10% refined long fibers pulp, 6% nanosilica, 1.5% cationic starch and 0.15% cationic

polyacrylamide and combined treatments included 6% nanosilica and 1.5% cationic starch and 6% nanosilica and 0.15% cationic polyacrylamide. Then 127 $g.m^{-2}$ handmade papers were prepared and the optical and microscopic properties were evaluated.

Results: The results showed that by adding 10% long fibers, the brightness decreased and by using 6% nanosilica, the maximum brightness was reached. Meanwhile, the whiteness of papers with 6% nanosilica was minimum and with the dosage of only 0.15% cationic polyacrylamide,

the whiteness reached at the maximum value. Opacity showed its highest value with the combination of 6% nanosilica and 0.15% cationic polyacrylamide. Also, by increasing the amount of polyacrylamide and cationic starch, individually or in combination with nanosilica, the opacity increased. The light absorption coefficient was the lowest in papers with 6% nanosilica and the light scattering coefficient was the highest in papers containing 6% nanosilica and 0.15% cationic polyacrylamide. A colorimeter was used to measure the color components and the results showed that the additives had an effect on the brightness and whiteness of the papers. Also, changes in the color spectrum and the value of color change were also observed. Additives increased the darkness and changes in different colors.

Conclusion: The use of nanosilica individually and in combination with starch and cationic polyacrylamide increases the brightness of papers. Also, the use of cationic polyacrylamide individually and in combination with nanosilica leads to an increase in the whiteness and opacity of papers. The brightness factor of the papers, which is representative of the L* component, decreased with the exception of the addition of 10% long fibers and 6% nanosilica. The amount of overall color change with ΔE* was the lowest in samples containing 1.5% cationic starch and the highest in samples containing 0.15% cationic polyacrylamide. The use of some treatments can lead to a decrease in the optical properties and a decrease in the printability quality of the white liner. To solve this problem, mechanical pulp that has been decolorized or coated on the surface of the paper can be used. The presence of nano-silica particles in the structure of the paper improves the surface structure and reduces the prosity, which results in the reduction of surface roughness and less light refraction, and increases the light reflection and brightness of the paper.

Keywords: Nanosilica, cationic starch, cationic polyacrylamide, white liner, packaging paper.

مقایسه تأثیر مجزا و ترکیبی نانوسیلیکا و افزودنی‌های کاتیونی بر ویژگی‌های نوری لاینر سفید بسته‌بندی

جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی[۱*]، احمد ثمریها[۲] و علیرضا خاکی فیروز[۳]

۱* - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران،

پست‌الکترونیک: jafar_kasmani@yahoo.com

۲- استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

۳- استادیار، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی، گروه پژوهشی بسته‌بندی و سلولزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: خرداد ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: بازیافت کاغذ باطله به عنوان یک صنعت در ایران و جهان رشد کرده است و به محیط‌زیست و انسان‌ها مزایای زیادی ارائه می‌دهد. زباله‌های شهری نیز پس از فرایندهای بازیافت دوباره استفاده می‌شوند. صنعت بازیافت مقوا اهمیت زیست‌محیطی و اقتصادی زیادی دارد و با کمبود منابع چوبی و تقاضای بالا برای محصولات کاغذی، نقش مهمی در توسعه صنایع مرتبط با کاغذ ایفا می‌کند. بااین‌حال، بازیافت می‌تواند با کاهش ویژگی‌های نوری کاغذ همراه باشد. استفاده از نانوذرات در صنعت کاغذسازی نیز روز به‌روز در حال گسترش است. نانوسیلیکا یکی از مهمترین نانوذرات است که به‌عنوان ماده کمک نگه‌دارنده در صنعت کاغذسازی استفاده می‌شود. به منظور کاهش مصرف الیاف بلند و به‌دست‌آوردن ویژگی‌های نوری مطلوب، استفاده از نانوسیلیکا به‌تنهایی یا در ترکیب با مواد دیگر مانند نشاسته کاتیونی و پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی بررسی می‌شود. هدف از این پژوهش، مقایسه تأثیر استفاده مجزا و ترکیبی از افزودنی‌های نانوسیلیکا، پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی، نشاسته کاتیونی و الیاف بلند بر خواص نوری خمیرکاغذ لاینر سفید است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، برای تهیه کاغذهای دست‌ساز از خمیرکاغذ سفید با روشنی حداقل ۷۸ درصد و براقیت حداقل ۴۵ درصد استفاده شد. خمیرکاغذ شیمیایی الیاف بلند از کرافت سوزنی وارداتی از روسیه با درجه روشنی ۸۹ درصد در آزمایشگاه استفاده گردید. برای افزودنی‌ها، از پودر نانوسیلیس (NanoSiO2) تولیدشده توسط شرکت Degussa آلمان، پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی با نام تجاری Farinret K325 تولید شرکت Degussa آلمان و نشاسته کاتیونی از شرکت LyckebyAmylex اسلواکی استفاده شد. تیمارهای مستقل شامل افزودن ۱۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند پالایش شده، ۶ درصد نانوسیلیس، ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی و ۰/۱۵ درصد پلی آکریل‌آمید کاتیونی و تیمارهای ترکیبی شامل ۶ درصد نانوسیلیس و ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی و ۶ درصد نانوسیلیس و ۰/۱۵ درصد پلی‌آکریل‌آمید کاتیونی بود. سپس کاغذهای دست‌ساز ۱۲۷ گرمی تهیه شده و خواص نوری و میکروسکوپی آنها ارزیابی شد.

نتایج: نتایج نشان داد که با افزودن ۱۰٪ الیاف بلند، روشنی کاهش یافت و با استفاده از ۶٪ نانوسیلیکا، روشنی بیشینه حاصل شد. همچنین، سفیدی کاغذها با ۶٪ نانوسیلیکا کمینه و با ۰/۱۵٪ پلی آکریل آمید کاتیونی بیشینه بود. ماتی بیشترین مقدار خود را با ترکیب ۶٪ نانوسیلیکا و ۰/۱۵٪ پلی آکریل آمید کاتیونی نشان داد. همچنین، با افزایش میزان پلی آکریل آمید و نشاسته کاتیونی، به‌صورت جداگانه یا ترکیبی با نانوسیلیکا، ماتی افزایش یافت. ضریب جذب نور در کاغذهای دارای ۶٪ نانوسیلیکا کمینه و ضریب پخش نور در کاغذهای حاوی ۶٪ نانوسیلیکا و ۰/۱۵٪ پلی آکریل آمید کاتیونی بیشینه بود. از دستگاه رنگ‌سنج برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های رنگ استفاده شد و نتایج نشان داد که افزودنی‌ها تأثیری در روشنی و سفیدی کاغذها داشتند. همچنین، تغییرات در طیف رنگی و میزان تغییر رنگ نیز مشاهده شد. افزودنی‌ها موجب افزایش تیرگی و تغییرات در رنگ‌های مختلف شدند.

نتیجه‌گیری: استفاده از نانوسیلیکا به‌صورت مجزا و در ترکیب با نشاسته و پلی آکریل آمید کاتیونی، باعث افزایش روشنی کاغذها می‌شود. همچنین، استفاده از پلی آکریل آمید کاتیونی به‌صورت مجزا و در ترکیب با نانوسیلیکا، منجر به افزایش سفیدی و ماتی کاغذها می‌شود. عامل روشنی کاغذها که با نماینده مؤلفه L* است، به استثنای افزودن ۱۰٪ الیاف بلند و ۶٪ نانوسیلیکا، کاهش یافت. میزان

تغییر رنگ کلی نیز با $E\Delta^*$، در نمونه‌هایی که ۱/۵٪ نشاسته کاتیونی داشتند، کمترین و در نمونه‌هایی که ۰/۱۵٪ پلی آکریل آمید کاتیونی داشتند، بیشترین مقدار را داشت. استفاده از برخی تیمارها می‌تواند منجر به کاهش خواص نوری و کاهش کیفیت چاپ‌پذیری لاینر سفید شود که برای رفع این مشکل می‌توان از خمیرکاغذ مکانیکی رنگبری‌شده یا اندود سطح کاغذ استفاده کرد. حضور ذرات نانوسیلیکا در ساختار کاغذ، باعث بهبود سطح پیوند و کاهش خلل و فرج می‌شود که درنتیجه به کاهش ناهمواری سطح و شکست کمتر نور منجر می شود و باعث افزایش انعکاس نور و روشنی کاغذ می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: نانوسیلیکا، نشاسته کاتیونی، پلی آکریل آمید کاتیونی، لاینر سفید، کاغذ بسته‌بندی.

مقدمه

بازیافت کاغذ در سال‌های اخیر و با افزایش مصرف این محصول، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. بازیافت کاغذ باطله به یک صنعت در ایران و جهان تبدیل شده است. صنعتی که مزایای بسیاری برای محیط‌زیست و انسان‌ها دارد. به همین دلیل، لازم است علاوه بر فروش کاغذهای باطله در حجم زیاد، کاغذهای کوچک در حجم‌های کمتر را نیز برای بازیافت جدا کرد. کاغذ باطله، می‌تواند برای کاربردهای مختلف استفاده شود. استفاده از آن مزایایی مانند حفظ محیط‌زیست، هزینه کمتر و در برخی موارد کاربرد بیشتر را به دنبال دارد. هر نوع کاغذی را می‌توان به عنوان باطله محسوب نمود و آن را بازیافت کرد.

فرایند بازیافت به دلیل قابلیت‌های ذاتی، بیشتر با کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی اعم از خواص نوری و مقاومتی محصول همراه است، این مسئله یکی از مشکلات اساسی بیشتر تولیدکنندگان کاغذهای مورد استفاده در بسته-بندی است؛ زیرا کاغذهای باطله و الیاف بازیافتی، از مهمترین منابع تأمین مواد اولیه برای تولید مقوا و کاغذهای بسته‌بندی هستند و این دسته از محصولات، نیازمند حد معینی از مقاومت هستند تا پاسخگوی نیاز بازار مصرف باشند (Vaysi & Vaghari, 2021).

در حال حاضر صنعت کاغذسازی از عوامل مقاومت خشک تجاری موجود مانند نشاسته کاتیونی و پلی اکریل آمید برای بهبود خواص مقاومتی کاغذ استفاده می‌کند. نشاسته کاتیونی متداول‌ترین ماده افزودنی مقاومت خشک کاغذ است. نشاسته کاتیونی در بهبود ماندگاری و شکل‌گیری کاغذ در بخش تر ماشین کاغذ بسیار مؤثر است (Glittenberg & Tippett, 2005).

Heermann و همکاران (۲۰۰۶)، بیان کردند نشاسته کاتیونی به‌عنوان یک ماده چسبنده عمل کرده و بین بخش‌های موجود در ساختار کاغذ پیوند برقرار می‌کند. نتیجه پژوهش-های Hubbe و همکاران (۲۰۰۳)، Merrette و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که نشاسته کاتیونی با افزایش مقاومت هر واحد از سطح پیوند یافته باعث بهبود خواص فیزیکی به‌ویژه مقاومت‌های کاغذ به‌دست‌آمده می‌شود. همچنین وقتی این الیاف را با الیاف بازیافتی مخلوط می‌کنند سبب افزایش کیفیت محصول در هنگام بازیافت دوباره کاغذ می‌گردد (Merrette *et al.*, 2005). با افزودن الیاف بلند می‌توان اثر منفی کوتاه شدن الیاف بازیافتی را بر شاخص مقاومت پارگی خنثی نمود و خمیرکاغذ را تقویت کرد (Minor & Atalla 1992). پژوهش‌های مختلفی در ارتباط با استفاده از مواد کاتیونی به همراه نانو ذرات انجام شده است (Svedberg, 2007; Khosravani, 2009).

پلی‌آکریل آمید نیز به‌عنوان یکی از پلیمرهای محلول در آب با جرم مولکولی زیاد در صنعت کاغذسازی به‌عنوان رزین مقاومت خشک و کمک نگه‌دارنده استفاده می‌شود. این رزین در بخش پایانه تر با تشکیل پیوندهای هیدروژنی بیشتر بین الیاف، باعث بهبود ماندگاری الیاف، نرمه‌ها، پرکننده‌ها، ذرات ریز و درنتیجه بهبود خواص مقاومتی خمیرکاغذ، جلوگیری از هدررفت مواد و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود.

امروزه با توجه به کاربرد فناوری نانو در عرصه‌های مختلف صنعتی، استفاده از نانو ذرات در صنعت کاغذسازی

جایگاه ویژه‌ای یافته و روزبه‌روز، نوآوری‌ها و کاربردهای مربوط به آن گسترش می‌یابد. نانو سیلیس یکی از مهمترین نانوذرات بوده که با توجه به اندازه ابعاد و خواص ویژه سطحی آن به همراه مواد کاتیونی مانند نشاسته و یا پلی‌آکریل آمید کاتیونی، به عنوان ماده کمک نگه‌دارنده کاربرد فراوانی دارد. نانوسیلیکا به‌عنوان یک افزودنی دوستدار محیط‌زیست، برای مصارف مختلف ازجمله صنایع کاغذ و مقوا استفاده می‌شود (Adel *et al.*, 2016; Osong *et al.*, 2016).

در صنعت کاغذ، سه ویژگی مقدار ماندگاری نرمه‌های الیاف، مواد پرکننده و قابلیت آب‌گیری از خمیرکاغذ بر کیفیت شکل گیری کاغذهای تولید شده اثر گذاشته و توجه به این سه موضوع باعث افزایش کمیت و کیفیت تولید کاغذ می‌شود (Asadpour *et al.*, 2012). به منظور بهبود اتصال بین الیاف و افزایش ویژگی‌های مقاومتی محصولات مورد نظر، روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که ازجمله آن می‌توان به میزان پالایش بیشتر، افزودن الیاف بکر و استفاده از مواد افزودنی کاتیونی با هدف بهبود مقاومت‌ها و ویژگی‌های نوری و فیزیکی کاغذ اشاره کرد (Ghasemian & Khalili, 2011).

استفاده از الیاف ضایعاتی اثرهای مخرب برداشت بیش‌ازاندازه چوب از جنگل‌ها را کاهش می‌دهد، ولی ویژگی-های فیزیکی و مقاومتی مناسب، با ساخت کاغذ از آن حاصل نمی‌شود. دفعات زیاد بازیافت معمولاً بر روی ویژگی‌های الیاف ضایعاتی کاغذ سفید تأثیر منفی گذاشته و در نهایت مقاومت کاغذ افت پیدا می‌کند. برای جبران این کاستی‌ها برای تولید این مقوا در کنار الیاف ضایعاتی از الیاف بلند و یا الیاف دست اول پهن‌برگان نیز استفاده می‌گردد؛ اما تهیه این الیاف علاوه بر اینکه از لحاظ اقتصادی برای صنایع مشکلاتی ایجاد می‌کند، تهیه آن برخی مواقع به دلایل سیاسی به سختی امکان-پذیر است؛ بنابراین علت اصلی انجام این پژوهش، بررسی کاهش میزان استفاده از خمیر الیاف بلند وارداتی و جایگزینی آن با نانوسیلیکا و پلی آکریل آمید برای ساخت کاغذ سفید از الیاف ضایعاتی با حفظ یا افزایش خواص کاغذ سفید است.

کارخانه‌های تولید مقوای بسته‌بندی برای تولید لایه رویی سفید آن با محدودیت‌هایی برای تأمین مواد اولیه روبرو هستند. در واقع تأمین بخشی از مواد اولیه این لایه رویی (الیاف بلند)، از طریق واردات انجام می‌شود که تهیه آن برخی مواقع با مشکلاتی همراه است؛ بنابراین جایگزینی این الیاف بلند وارداتی با نانوسیلیکای تولید داخل به عنوان مهمترین توجیه اجرای طرح بوده است. در نهایت استفاده از فناوری های پیشرفته مانند نانوفناوری در تولید کاغذ سفید لایه رویی مقوا ازجمله دیگر نوآوری‌های اجرای این تحقیق است.

امروزه حجم زیادی از زباله‌های شهری پس از اعمال فرایندهای خاص دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرند. صنعت بازیافت مقوا از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی، به دلیل کمبود منابع اولیه چوبی و تقاضای روزافزون فراورده‌های کاغذ و مقوا، نقش مهمی در توسعه صنایع مرتبط با کاغذ دارد؛ اما بازیافت با وجود مزایای زیاد، با کاهش ویژگی‌های نوری کاغذ همراه است. از سویی، مسئله واردات خمیرکاغذ الیاف بلند به دلیل فقدان جنگل‌های سوزنی‌برگ تجاری در ایران هم باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به این توضیحات، انتظار می‌رود با کاربرد نانوسیلیکا به‌تنهایی و یا در ترکیب با نشاسته کاتیونی و پلی آکریل آمید کاتیونی علاوه بر کاهش مصرف الیاف بلند، امکان دستیابی به ویژگی‌های نوری مطلوب و مورد نیاز را به طور همزمان فراهم نماید؛ بنابراین هدف از انجام این پژوهش، بررسی مقایسه‌ای تأثیر مجزا و ترکیبی استفاده از افزودنی‌های مختلف شامل نانوسیلیکا، پلی اکریل آمید کاتیونی، نشاسته کاتیونی و الیاف بلند بر خواص نوری خمیرکاغذ لاینر سفید به‌منظور استفاده در مقوای بسته‌بندی است.

مواد و روش‌ها

خمیرکاغذ

به‌منظور تأمین خمیرکاغذ سفید، از کارخانه کاغذسازی اترک مقدار ۱۰ کیلوگرم خمیرکاغذ با روشنی حداقل ۷۸ درصد و براقیت حداقل ۴۵ درصد تهیه گردید. خمیرکاغذ شیمیایی الیاف بلند از کرافت سوزنی‌برگ وارداتی از روسیه با درجه روشنی ۸۹ درصد تهیه و به آزمایشگاه انتقال یافت. خمیرکاغذهای حاصل تا غلظت ۱۵-۱۰ درصد آب‌گیری و بعد درون کیسه‌های پلاستیکی دربسته قرار گرفت.

نانو سیلیس

در این تحقیق، از پودر نانو سیلیس ($NanoSiO_2$) تولید شده توسط شرکت Degussa کشور آلمان استفاده شد. مشخصات نانو سیلیس مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات نانو سیلیس

Table 1- Characteristics of nano silica

Silicon Oxide		SiO_2
Purity		99+%
APS		11-13nm
SSA		200 m^2/g
True density		2.4 g/cm^3
Bulk density		<0.10 g/cm^3
Color		White
Moisture		<2%
Weight Loss on Ignition		30%
Certificate of Analysis	SiO2	<99%
	Ti	<120ppm
	Ca	<70ppm
	Na	<50ppm
	Fe	<20ppm
According to Producer Information		

پلی آکریل آمید کاتیونی

پلی‌آکریل آمید کاتیونی به صورت محلول در آب با نام تجاری Farinret K325 تولید شرکت Degussa کشور آلمان و مورد مصرف در چوب و کاغذ مازندران می‌باشد. این پلی الکترولیت بر پایه پلیمرهای آکریلیک بوده و دارای جرم مولکولی بالا و بار کاتیونی متوسط است. به دلیل اینکه محصول تولید شده انحصاری است، شرکت تولیدکننده اطلاعات اندکی درباره وزن مولکولی و دانسیته بار ارائه داده و به کلماتی مانند کم، متوسط و زیاد اکتفا کرده است آماده‌سازی شد (Kasmani *et al.*, 2022).

نشاسته کاتیونی

نشاسته کاتیونی از نشاسته سیب‌زمینی شرکت Lyckeby Amylex کشور اسلواکی تهیه شد، نشاسته کاتیونی مورد استفاده در این پژوهش دارای pH حدود ۶، درجه استخلاف (D.S.) حدود ۰/۰۳۵ mol/mol، میزان پروتئین ۱/۵ درصد، نیتروژن ۰/۲۵ درصد و رطوبت ۱۰ درصد بر اساس وزن مرطوب بود. برای تهیه محلول نشاسته کاتیونی استفاده گردید (Kasmani *et al.*, 2021).

بعد از آماده‌سازی اولیه خمیرکاغذ سفید و خمیرکاغذ الیاف بلند و مواد افزودنی به شرح ذکرشده، کاغذهای دست-ساز از ۷ تیمار مطابق جدول ۲ به شرح زیر ساخته شدند.

جدول ۲- ترکیب تیمارهای مورد بررسی و نیز مقادیر مصرف نانو سیلیس، نشاسته و پلی اکریل آمید کاتیونی

Table 2- The composition of the examined treatments as well as the consumption amounts of nano silica, starch and cationic polyacrylamide

Cationic polyacrylamide (%)	Cationic starch (%)	Nano silica (%)	Imported chemical long fiber pulp (%)	Liner pulp (%)	Treatment code	Treatment number
0	0	0	0	100	C	1
0	0	0	10	90	10LF	2
0.15	0	0	0	99.85	0.15CPAM	3
0	0	6	0	94	6NS	4
0.15	0	6	0	93.85	6NS+0.15CPAM	5
0	1.5	0	0	98.5	1.5CS	6
0	1.5	6	0	92.5	6NS+1.5CS	7

تهیه کاغذهای دست‌ساز

کاغذهای دست‌ساز ۱۲۷ گرمی بر اساس آئین‌نامه استاندارد شماره SCAN C-26:67 و با استفاده از دستگاه ورق‌ساز نوع KCL (KCL Handsheet maker) انجام شد. از هر تیمار تعداد ۱۰ کاغذ دست‌ساز ساخته شد.

اندازه‌گیری خواص کاغذ

برای اندازه‌گیری خواص نوری از دستگاه اسپکتروفتومتری استفاده شد. این دستگاه در سیستم CIElab قادر به تشخیص رنگ فراورده‌های کاغذ است. عملکرد این سیستم بر اساس خاصیت انعکاس نور از سطح مورد مطالعه استوار است. به طوری‌که ویژگی‌های نوری، فاکتورهای *L، *a و *b، ضریب جذب (K) و ضریب پخش (S) مطابق استاندارد INSO 20747-4 و ویژگی‌های نوری (درجه روشنی، سفیدی و ماتی)، مطابق با استاندارد ASTM D-2244 تعیین شدند.

مطالعات میکروسکوپی

سطوح کاغذهای ساخته شده با دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی MIRA3TESCAN-XMU ساخت کشور چک واقع در پژوهشگاه متالوژی رازی بررسی شدند.

تجزیه‌وتحلیل آماری

طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق، از نوع کاملاً تصادفی بود و به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد توسط نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج

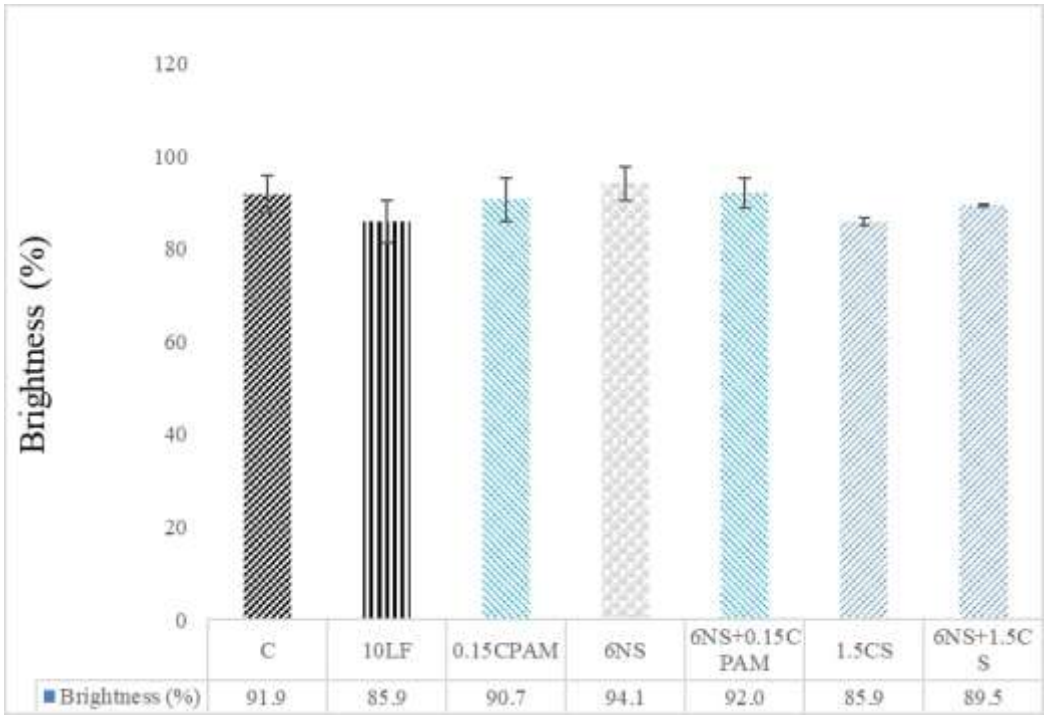
سطح معنی‌داری اختلاف بین خواص مورد بررسی کاغذهای دست‌ساز در جدول تجزیه واریانس نشان داده شده است (جدول ۳). اثر مواد افزودنی بر سفیدی، ماتی، ضریب جذب و پخش نور، فاکتور *L، *a و *b در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است. درحالی‌که بر روشنی در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست.

جدول ۳- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی‌داری) اثر تیمارها بر خواص کاغذهای دست‌ساز

Table 3- Analysis of variance (F value and significance level) of the effect of treatments on the properties of handsheet

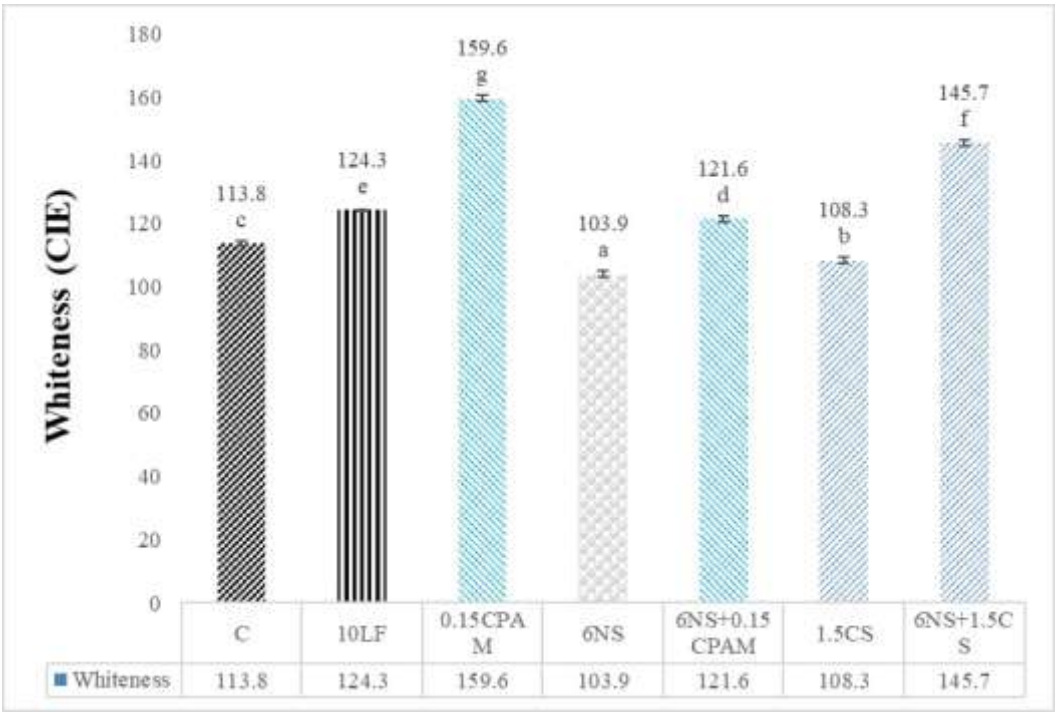
Properties of paper	Brightness (%)	Whiteness (CIE)	Opacity (%)	Light absorption coefficient m^2/g	Light diffusion coefficient m^2/g	L*	a*	b*
F value	2.449 ns	1540.841*	126.860*	290.34*	16.897*	459408.0*	66193.0*	31032.2*

* denotes significance at the 95% confidence level; ns no significance



شکل ۱- مقایسه میانگین روشنی کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

Figure 1- Comparison of average brightness of handsheet and their grouping



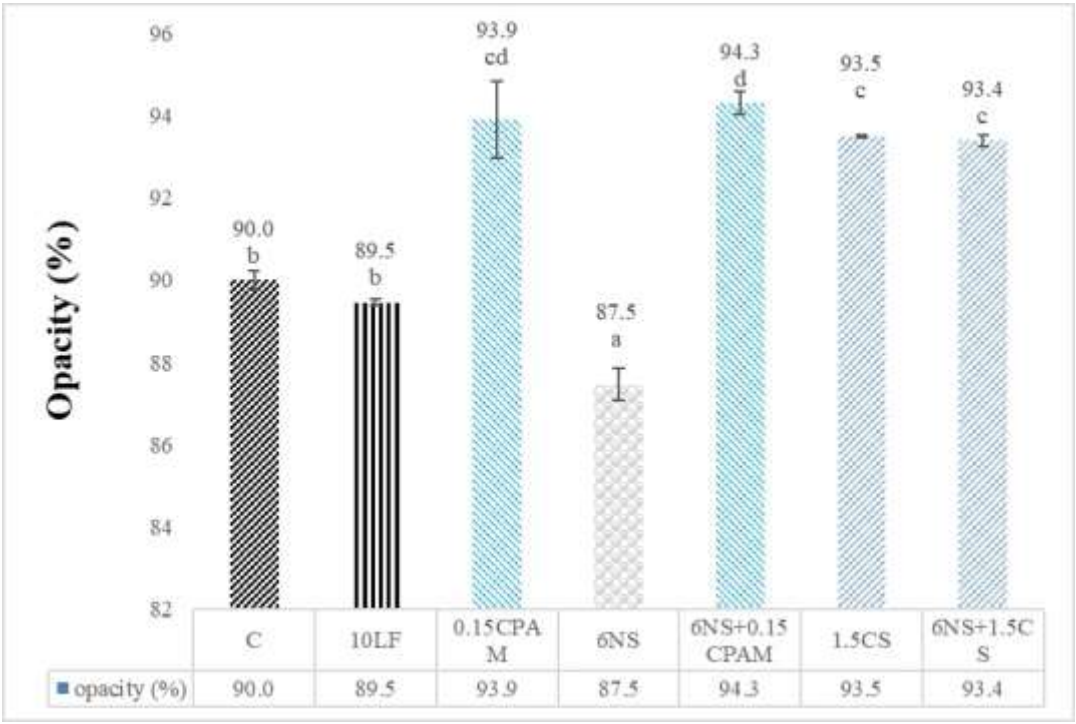
شکل ۲- مقایسه میانگین سفیدی کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

Figure 2- Comparison of average whiteness of handsheet and their grouping

شکل ۱ روند تغییرات روشنی را برای نمونه‌های کاغذ نشان می‌دهد. کمترین میزان روشنی مربوط به ۱۰ درصد الیاف بلند و بیشترین میزان روشنی مربوط به هنگام استفاده از ۶ درصد نانوسیلیکا است.

شکل ۲ میانگین تغییرات سفیدی کاغذها را برای نمونه‌های کاغذ نشان می‌دهد. آزمون دانکن میانگین داده‌های سفیدی تیمارهای یادشده را در ۷ گروه مستقل قرار داد. کمترین سفیدی مربوط به کاغذهای دارای ۶ درصد نانوسیلیکا و بیشترین سفیدی مربوط به کاغذهای حاوی ۰/۱۵ درصد پلی آکریل آمید کاتیونی بود.

شکل ۳ میانگین تغییرات مقاومت ماتی را برای نمونه‌های خمیرکاغذ نشان می‌دهد. آزمون دانکن میانگین ماتی کاغذها را در چهار گروه مستقل قرار داد. ماتی کاغذ با افزایش مقدار پلی آکریل آمید کاتیونی بهبود می‌یابد. استفاده از پلی آکریل آمید کاتیونی باعث افزایش دانسیته، افزایش ماندگاری، افزایش پیوند بین الیاف، افزایش نسبی سطح و همگن شدن سطح الیاف در کاغذ شده و درنتیجه ماتی کاغذ افزایش یافته است؛ اما بیشترین ماتی مربوط به استفاده از ترکیب ۶ درصد نانوسیلیکا و ۰/۱۵ درصد پلی آکریل آمید کاتیونی است که در مقایسه با نمونه شاهد ارجح‌تر است (گروه d). نتایج حاصل از ماتی نشان داد که با افزایش مقدار پلی آکریل آمید و نشاسته کاتیونی چه به‌صورت مجزا و چه به‌صورت ترکیب با نانوسیلیکا، ماتی افزایش پیدا کرده است.



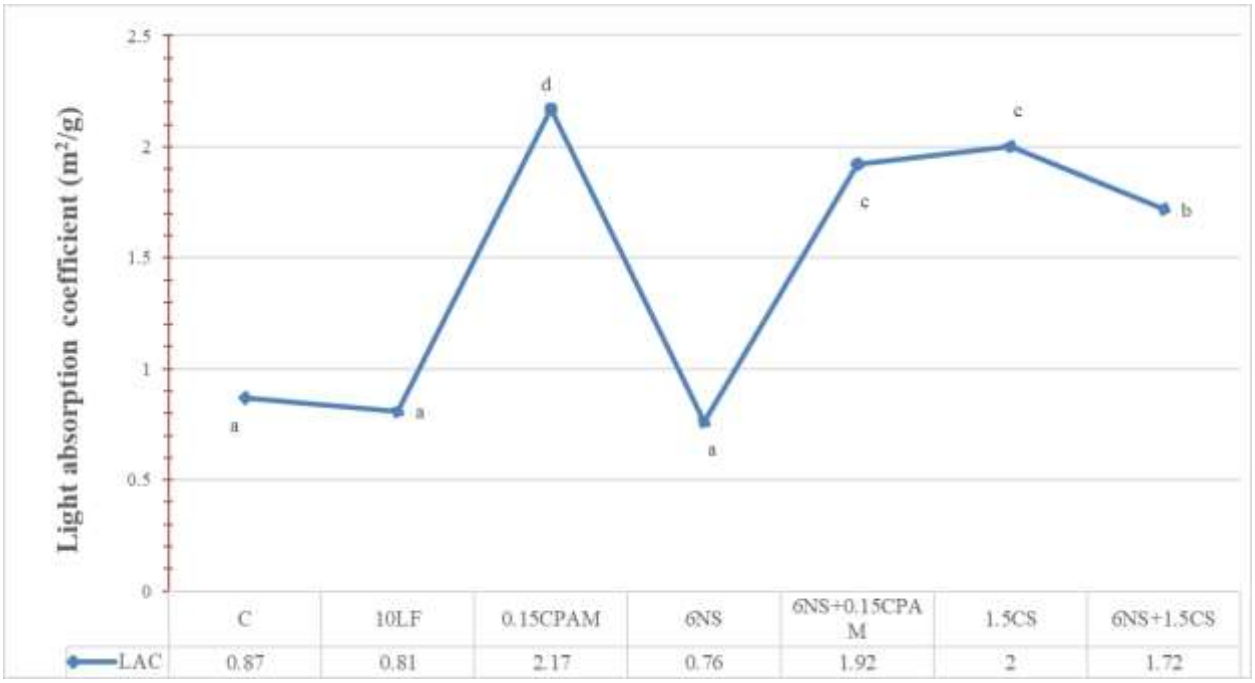
شکل ۳- مقایسه میانگین ماتی کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

Figure 3- Comparison of average opacity of handsheet and their grouping

شکل ۴ میانگین تغییرات ضریب جذب نور کاغذها را برای نمونه‌های کاغذ نشان می‌دهد. آزمون دانکن میانگین داده‌های ضریب جذب نور تیمارهای یادشده را در ۴ گروه مختلف قرار داد. کمترین ضریب جذب نور مربوط به کاغذهای دارای الیاف بلند و بیشترین ضریب جذب نور مربوط به کاغذهای حاوی ۰/۱۵ درصد پلی آکریل آمید کاتیونی بود.

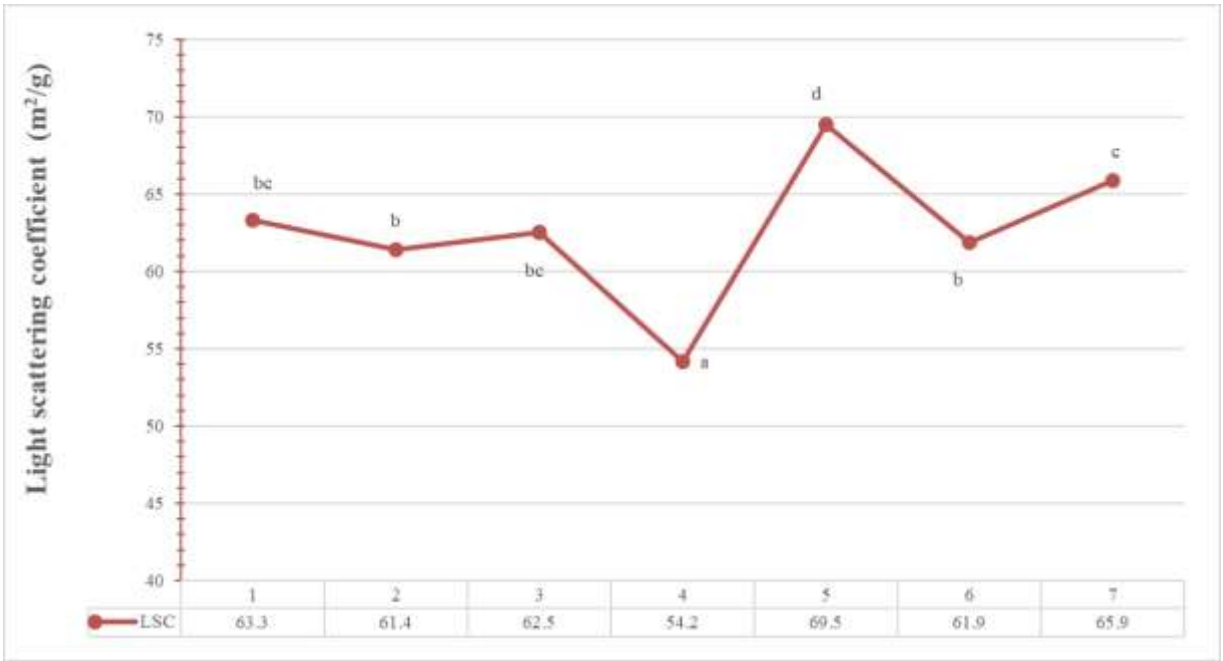
شکل ۵ میانگین تغییرات ضریب پخش نور کاغذها را

برای نمونه‌های کاغذ نشان می‌دهد. آزمون دانکن میانگین داده‌های ضریب پخش نور تیمارهای یادشده را در ۴ گروه مختلف قرار داد. کمترین ضریب جذب نور مربوط به کاغذهای دارای ۶ درصد نانو سیلیس و بیشترین ضریب پخش نور مربوط به کاغذهای حاوی ۶ درصد نانوسیلیس و ۰/۱۵ درصد پلی آکریل آمید کاتیونی بود.



شکل ۴- مقایسه میانگین ضریب جذب نور کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

Figure 4- Comparison of the average light absorption coefficient (LAC) of handsheet and their grouping



شکل ۵- مقایسه میانگین ضریب پخش نور کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

Figure 5- Comparison of the average light scattering coefficient of handsheet and their grouping

با بهره‌گیری از دستگاه رنگ‌سنج در سیستم CIE مؤلفه‌های رنگ شامل L*, a*, b* برای نمونه شاهد و سایر نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده به تفکیک برای هر نمونه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که انواع افزودنی‌ها، روشنی ورق‌های کاغذ را نسبت به نمونه‌های شاهد در همه موارد کاهش داد (ΔL+ برای بیان روشنی و ΔL- برای بیان تیرگی هستند). فاکتور a نشان‌دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز در کاغذ است. میزان تغییر رنگ کلی در ΔE* در نمونه ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی کمترین و در ۰/۱۵ پلی آکریل آمید کاتیونی بیشترین مقدار بود.

تفاوت مؤلفه‌های مؤثر در سنجش رنگ نمونه‌ها در جدول ۴ آمده است. افزودن متغیرهای تولید موجب افزایش تیرگی و تمایل به قرمزی در نمونه های ۰/۱۵ درصد پلی اکریل آمید کاتیونی، ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی و ۶ در صد نانو سیلیس + ۱/۵ در صد نشاسته کاتیونی شده است و تمایل زردی به نمونه‌های حاوی ۶ درصد نانو سیلیس و ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی و تمایل به سبزی در نمونه‌های ۱۰ درصد الیاف بلند وارداتی، ۶ در صد نانو سیلیس و ۶ در صد نانو سیلیس + ۰/۱۵ پلی اکریل آمید کاتیونی و تمایل به رنگ آبی در نمونه‌های ۱۰ درصد الیاف بلند وارداتی، ۰/۱۵ درصد پلی اکریل آمید کاتیونی، ۶ درصد نانو سیلیس + ۰/۱۵ پلی اکریل آمید کاتیونی و ۶ در صد نانو سیلیس + ۱/۵ در صد نشاسته کاتیونی شده است.

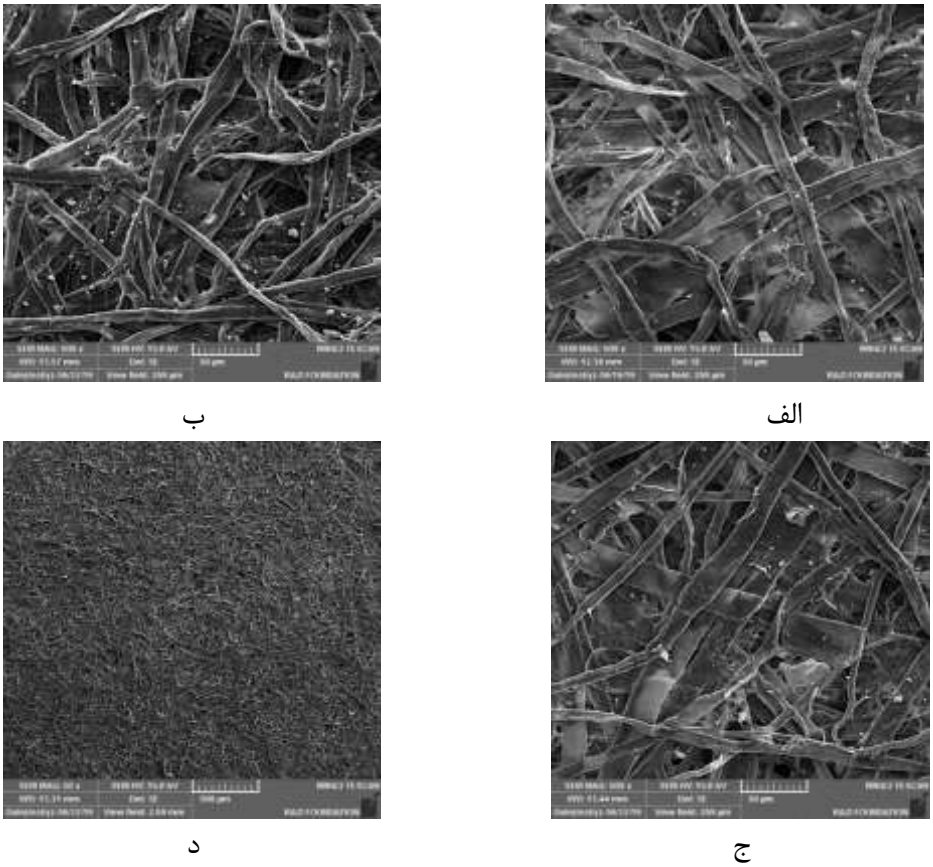
جدول ۴- تغییرات مؤلفه‌های نوری نمونه‌های کاغذ

Table 4- Changes in optical components of paper samples

ΔE*	Δb	Δa	ΔL	b*	a*	L*	Sample
–	–	–	–	-7.07^{e}	-2.89^{d}	92.05^{e}	Control
10.43	-1.91	-10.25	0.40	-8.98^{d}	-13.14^{a}	92.45^{f}	10 LF
42.58	-14.26	38.20	-12.27	-21.33^{a}	35.31^{g}	79.78^{a}	0.15 CPAM
9.07	2.44	-8.71	0.61	-4.63^{g}	-11.60^{b}	92.66^{g}	6NS
3.02	-2.09	-1.82	-1.20	-9.16^{c}	-4.71^{c}	90.85^{d}	6NS+0.15CPAM
2.23	0.34	0.70	-2.09	-6.73^{f}	-2.19^{e}	89.96^{c}	1.5CS
24.37	-9.26	21.79	-5.78	-16.33^{b}	18.90^{f}	86.27^{b}	6NS+1.5CS

افزایش در میزان L* به معنی روشن‌تر شدن نمونه است. Δa مثبت به معنی تغییر رنگ متمایل به قرمز و Δa منفی نیز به معنی تغییر رنگ متمایل به سبز است. همچنین Δb مثبت به معنی تغییر رنگ متمایل به زرد و Δb منفی به معنی تغییر رنگ متمایل به آبی است.

در تصاویر میکروسکوپی زیر وضعیت ساختاری کاغذهای دست‌ساز برای نمونه شاهد (الف)، ۱۰ درصد الیاف بلند وارداتی (ب)، ۶ درصد نانوسیلیکا و ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی (ج) و ۶ درصد نانوسیلیکا و ۰/۱۵ درصد پلی آکریل آمید کاتیونی (د) قابل مشاهده است. البته، با افزودن نانوسیلیکا به همراه نشاسته کاتیونی یا پلی آکریل آمید کاتیونی خلل‌وفرج کاغذها کاهش یافته است.



شکل ۶- ساختار میکروسکوپی کاغذهای دست‌ساز: الف) نمونه شاهد، ب) ۱۰ درصد الیاف بلند وارداتی، ج) ۶ درصد نانوسیلیکا و ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی، د) ۶ درصد نانوسیلیکا و ۰/۱۵ درصد پلی آکریل آمید کاتیونی

Figure 6- Microscopic structure of handsheet (a) control sample (b) 10% imported long fibers (c) 6% nanosilica and 1.5% cationic starch (d), 6% nanosilica and 0.15% polyacrylamide cation

بحث

درجه روشنی کاغذ به درجه روشنی مواد اولیه خمیرکاغذ، pH خمیرکاغذ، نـوع و مقـــدار مواد افزودنی و در مجموع به ضرایب جـــذب و پخش نور وابسته است (Afra *et al.*, 2015). نتایج حاصل از آزمون‌های درجه روشنی در مرحله اول نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نشاسته کاتیونی و الیاف بلند، روشنی تغییری آنچنانی نداشته است اما با افزایش مقدار نانوسیلیکا و پلی آکریل آمید درجه روشنی تا حدودی افزایش داشته است. در واقع به‌کارگیری این مواد موجب تغییر و بهبود ویژگی‌های نوری در کاغذ می‌شود (Hosseini *et al.*, 2017).

با اضافه شدن نانوسیلیکا به شبکه کاغذ و تغییر ساختار کاغذ، درنتیجه پر شدن فضاهای بین سلولی و افزایش اتصال بین الیاف، عبور نور افزایش یافته و درجه روشنی افزایش می‌یابد. در واقع افزایش حضور ذرات نانوسیلیکا در ساختار کاغذ سبب توسعه و بهبود سطح پیوند، کاهش خلل‌وفرج و کاهش ناهمواری سطح شده که همه این عوامل موجب شکست کمتر نور، افزایش انعکاس نور و افزایش روشنی کاغذ می‌شود (Pourkarim Dodangeh *et al.*, 2021).

نانوسیلیکا دارای درجه روشنی اولیه بیشتر بوده و به‌دلیل اندازه ذرات، سطح ویژه بالایی نسبت به الیاف داشته که سبب افزایش درجه روشنی نمونه‌های تیمار شده با آن شده است (Hosseini *et al.*, 2017).

بررسی خواص نوری کاغذ نشان داد که افزودن نانوسیلیکا

به ترکیب سبب کاهش ماتی کاغذ شده است. ماتی توان جذب نور کاغذ در یک طول موج معین، یعنی ۴۵۷ نانومتر است. عوامل مؤثر بر ماتی شامل فاصله الیاف از یکدیگر، ساختار کاغذ، نوع الیاف، مقدار الیاف ریز و کوتاه و مقدار پرکننده است. ماتی کاغذ به عبور نور بستگی دارد (Zhang *et al.*, 2007).

میزان تغییرات درجه ماتی متأثر از ساختار کاغذ، اندازه و سطح ویژه نانو مواد است که در نهایت باعث پراکنش نور و افزایش یا کاهش درجه ماتی در کاغذ می‌شود. مقدار پراکندگی نور هنگامی‌که نور از کاغذ عبور می‌کند با سطحی از الیاف که با هوا در تماس است، ارتباط مستقیم دارد. هرچه سطح اتصال بین الیاف کمتر باشد، سطح در تماس با هوا بیشتر بوده و این سطح پیوند نیافته درصد بیشتری از نور را پراکنده می‌کند. با اضافه شدن نانوسیلیکا به شبکه کاغذ، درجه ماتی به دلیل افزایش اتصال بین الیاف کاهش یافت. بنابراین، تغییرات فقط متأثر از افزایش پیوند بین الیاف در حضور نانوسیلیکا می‌باشد. به‌طورکلی نانوسیلیکا از طریق افزایش سطح پیوند بین الیاف، موجب افزایش سطح تماس نوری می شود. با افزایش سطح تماس نوری، نور می‌تواند با شکست کمتری از کاغذ عبور کند، در نتیجه ماتی کاغذ کاهش می‌یابد.

به‌کارگیری پرکننده‌های معدنی سبب تغییر و بهبود ویژگی های نوری در انواع کاغذها می‌شود (Mirshokraei, 2007)؛ اما میزان این تغییرات متأثر از ساختار کاغذ، اندازه و سطح ویژه پرکننده است که در نهایت باعث پراکنش نور و افزایش خواص نوری در کاغذ می‌شوند.

سفیدی در واقع از انعکاس نور در تمام طول موج‌ها ناشی می‌شود. بررسی‌های Kumar و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که میزان انعکاس کلی نور هم به مقدار ضریب تفرق در کاغذ پایه و هم ساختار مواد مورد استفاده بستگی دارد. عوامل دیگری مانند اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی ذرات نیز تأثیر زیادی در این ارتباط دارند. نتایج حاصل از سفیدی نشان داد که با افزایش مقدار پلی آکریل آمید و نشاسته کاتیونی به‌صورت ترکیب با نانوسیلیکا، سفیدی افزایش پیدا کرده است.

ماتی یکی از ویژگی‌های بسیار مهم در کاغذ است که به طور مستقیم به مقدار بالک و ضریب تفرق نور وابسته است. ضریب تفرق نور نیز به ساختار به‌ویژه فضاهای میکرو در سطح لایه پوشش بستگی دارد (Sodeif *et al.*, 2019). ماتی کاغذ، خاصیتی از کاغذ است که مانع عبور نور از کاغذ می شود و تابع عواملی مانند وزن پایه، ضریب جذب و ضریب پخش نور در کاغذ است (Afra *et al.*, 2015).

در این تحقیق، افزودن نشاسته و پلی آکریل آمید کاتیونی، ضریب پراکندگی نور در سطح کاغذ را افزایش داده و به مقدار زیادی منجر به افزایش درجه ماتی کاغذ شده است. با اضافه شدن نانوسیلیکا به شبکه کاغذ درجه ماتی نمونه‌ها نسبت به کاغذ شاهد به دلیل افزایش بیشتر اتصال بین الیاف نیز افزایش یافت، ازاین‌رو کاغذهای ساخته شده با ترکیب نانوسیلیکا–پلی آکریل آمید کاتیونی و نانوسیلیکا–نشاسته، باعث ایجاد درجه ماتی بیشتر شد و تأثیر پلی آکریل آمید و نشاسته کاتیونی در افزایش این ویژگی نمایان بود.

ضریب جذب نور کاغذ بستگی به ترکیب شیمیایی خمیر و به‌ویژه ترکیبات رنگی مانند لیگنین، رنگ‌ها و ... دارد و مواد پرکننده نیز با توجه به ضرایب جذب نور مخصوص به خود بر ضریب جذب نور کاغذ تأثیر می‌گذارند. ضریب جذب نور به‌طور مستقیم بستگی به غلظت گروه‌های رنگ‌ساز جاذب نور و یا انواع و مقادیر لیگنین باقیمانده دارد. به نظر می‌رسد افزایش ضریب جذب نور در کاغذهای حاوی پلی آکریل آمید کاتیونی به دلیل افزایش در گروه‌های جاذب نور مانند اکسیداسیون گروه‌های رنگ‌ساز باشد (Afra *et al.*,2015).

ضریب پخش نور بستگی به مقدار سطح پیوند الیاف، مقدار نرمه‌های الیاف و مواد پرکننده و نیز مقدار الیاف در واحد وزن دارد؛ اما بیشتر مرتبط با سطح نسبی پیوند بین الیاف است. ازاین‌رو، به‌عنوان معیاری از درجه پیوندهای بین لیفی است. هرچه پیوند بین الیاف بیشتر گردد به دلیل کاهش نسبی سطح الیاف، مقدار ضریب پخش نور نیز کاهش خواهد یافت. مصرف زیاد نانو سیلیس باعث افزایش پیوندهای بین الیاف و کاهش نسبی سطح الیاف شده که این موضوع سبب

کاهش ضریب پخش نور شده است.

ضریب پخش نور (S) بستگی به سطح غیر متصل آزاد الیاف و یا بالک کاغذ دارد. در حالی‌که ضریب جذب نور (K) به‌طور مستقیم بستگی به غلظت گروه‌های رنگ‌ساز جاذب نور و یا انواع و مقادیر لیگنین باقیمانده دارد. کاهش در ضریب جذب نور به دلیل کاهش در گروه‌های جاذب نور مانند اکسایش گروه‌های رنگ‌ساز بوده است (Kajforush & Resalati, 2012). علت کاهش در فاکتور a* و b* می‌تواند به ترتیب مربوط به تخریب جزئی گروه‌های کربونیل اتصال یافته و نیز تخریب ساختارهای کینوئیدی باشد (Chen *et al.*, 2012).

افزودن ذرات با ابعاد نانو باعث پر کردن خلل‌وفرج بین الیاف شده، در نتیجه موجب کاهش قابلیت آبگیری از ورقه کاغذ می‌شود (Lagaron *et al.*, 2004).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرهای مجزا و ترکیبی نانوسیلیکا، پلی اکریل آمید کاتیونی، نشاسته کاتیونی و الیاف بلند وارداتی بر خواص نوری لاینر سفید تهیه شده از الیاف بازیافتی بررسی شد. نتایج نشان داد که در تیمارهایی که نانوسیلیکا به صورت مجزا و در ترکیب با نشاسته و پلی آکریل آمید کاتیونی استفاده شده، به روشنی کاغذها افزوده شده است. در تیمارهایی که پلی آکریل آمید کاتیونی به صورت مجزا و در ترکیب با نانوسیلیکا استفاده شده، سفیدی و ماتی کاغذها افزایش یافته است. مؤلفه L* که عامل روشنی است به‌غیراز افزودن ۱۰ درصد الیاف بلند و ۶ درصد نانو سیلیس کاهش یافت. میزان تغییر رنگ کلی در ΔE* در نمونه ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی کمترین و در ۰/۱۵ پلی آکریل آمید کاتیونی بیشترین مقدار بود. کاهش خواص نوری در برخی تیمارها، موجب افت کیفیت چاپ‌پذیری لاینر سفید خواهد شد که برای رفع این مشکل هم می‌توان از خمیرکاغذ مکانیکی رنگبری‌شده استفاده یا سطح این کاغذها را اندود کرد.

منابع مورد استفاده

-Adel, A.M. El-Gendy, A.A. Diab, M.A. Abou-Zeid, R.E. El-Zawawy, W.K. and Dufresne, A., 2016. Microfibrillated cellulose from agricultural residues. Part I: Papermaking application. Industrial Crops and Products, 93: 161-174.

-Afra, A. Mohammadi, M. Sarayian, A. and Imani, R., 2015. Production of microbial nano-silver and its use in paper to improve its antibacterial properties. Forest and Wood Products, Iranian Natural Resources, 68(3): 547 – 557. (In Persian).

-Afra, A. Mohammadi, M. Imani, R. Narchin, P. and Roshani, Sh., 2015. Improving the antibacterial properties of hygiene papres using silver nanoparticles. Journal of Wood and Forest Science and Technology Research, 22(2): 119-135.

-Asadpour, GA. Resalaty, H. Dehghani, M.R. and Ghasemian, A., 2012. The influence of cationic polymer type, cationic poly acryl amid and cationic starch, on performance of nano silica for newspaper pulp and paper improvement, Journal of Wood & Forest Science and Technology, 19(3): 77-94. (In Persian).

-Chen, Y. Fan, Y. Tshabalala, M.A. Stark, N.M. Gao, J. and Liu, R., 2012. Optical property analysis of thermally and photolytically aged Eucalyptus Camaldulensis chemithermomechanical pulp (CTMP). Bioresources, 7(2): 1474-1487.

-Ebrahimpour-Kasmani, J. Samariha, A. and Mahdavi, S., 2022. The effect of different additives on the properties of handsheet prepared from office wastte paper, Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 13(2), 119-131. (In Persian).

-Ebrahimpour Kasmani, J. Samariha, A. and Khakifirooz, A., 2021. Investigation of replacement of imported long fiber pulp with cellulose nanofibers and cationic materials in the production of durable paper. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 36(2): 157-169. (In Persian).

-Ghasemian, A. and Khalili, A., 2011. Principle and methods of paper recycle. Tehran: Aiij press, 184 p. (In Persian).

-Glittenberg, D. and Tippett, R. J. 2005. Highli Effective Corn Starch in the Wet-End as a Low-Cost Alternative to Popato Starch. Professional papermaking, (1): 44-48.

-Heermann, M. L. Welter, S. R. and Hubbe, M. A., 2006. Effects of high treatment levels in a dry-strength additive program based on deposition of polyelectrolyte complexes: How much glue is too much?. TAPPI journal, 5(6): 9.

-Hosseini, S.M. Saraeiyan, A.R. Ghasemian, A. and

-Mirshokraei, S.A., 2007. paper chemistry, 2th Ed., Ayig, Tehran, 184 p. (In Persian).
-Osong, S.H. Norgren, S. and Engstrand, P., 2016. Processing of woodbased microfibrillated cellulose and nanofibrillated cellulose, and applications relating to papermaking: a review. Cellulose., 23(1): 93-123.
-Pourkarim Dodangeh, H. Jalali Torshizi, H. and Rudi, H., 2021. Cationic PolyAcrylamide/Cellulose Nanofibril Polyelectrolytes Effect on Suspension and Network Properties of Packaging Recycled fibers. Journal of Applied Research of Chemical-Polymer Engineering, 5(1): 3-15.
-Sodeif, B. Nazarnezhad, N. and Sharifi, S.H., 2019. Investigation of mechanical and optical properties of papers coated with Polycaprolactone - Nanocrystalline cellulose - zinc oxide Nanoparticle. Wood and Paper science research, 34(1): 31-46.
-Svedberg, A., 2007. Valuation of retention/formation relationships using a laboratory pilot-paper machine, Licentiate thesis, Royal institute of Technology, Stockholm, Sweden, 86p.
-Vaysi, R. and Vaghari, K., 2021. The effect of using cationic starch, long fiber and nano-clay on physical and mechanical properties of recycled pulp, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 36(4): 404-416. (In Persian).
-Zhang, L. Jiang, Y. Ding, Y. Povey, M. and York, D., 2007. Investigation into the antibacterial behavior of suspensions of Zno nanopzrticles (Zno nanofluids). Journal of Nanoparticle Reearch, 9(3): 479–489.
Dehghani, M.R., 2017. The effect of using synthesis zeolite 4A as coating-pigment on physical properties of paper, Journal of Wood & Forest Science and Technology, 24(2): 143-156. (In Persian).
-Hubbe, M. A. Jackson, T. L. and Zhang, M. I. N., 2003. Fiber surface saturation as a strategy to optimize dual-polymer dry strength treatment. TAPPI Journal, 2(11): 7-12.
-Kajforush, S. and Resalati, H., 2012. The effect of acid pretreatment and peroxide reinforcement in alkaline extraction on optical and strength properties of Eucalyptus Camaldulensis kraft pulp during DED bleaching sequence. Lignocellulose, 1(3): 228-240.
-Khosravani, A., 2009. Investigation on Utilizing Cationic Starch-Anionic Nanosilica System for Application of More Filler in Fine Paper. Ph.D. Thesis, Tehran University, 126p. (In Persian).
-Kumar, N. Bhardwaj, N. K. and Chakrabarti, S. K., 2011. Influence of particle size distribution of calcium carbonate pigments on coated paper whiteness. Journal of coatings technology and research, 8(5): 613-618.
-Lagaron, J.M. Catala, R. and Gavara, R., 2004, Structural characteristics defining high barrier properties in polymeric materials, Materials Science and Technology, 20: 1–7.
-Merrette, M. M. Tsai, J. J. and Richardson, P. H., 2005. U.S. Patent No. 6,843,888. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
-Minor, J. L. and Atalla, R. H., 1992. Strength loss in recycled fibers and methods of restoration. MRS Online Proceedings Library (OPL), 266.