

Evaluation of the effect of coating with graphene, Zein and Fluorine on the physical properties and printability of white liner paper from Mazandaran Wood and Paper Factory

Jafar Ebrahimpour-Kasmani^{1*}  and Ahmad Samariha² 

1*- Corresponding author, Associate Prof, Department of Wood and Paper, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran., Email: kasmani@iaau.ac.ir

2-Assistant Prof, Department of Engineering Sciences, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

Received: 17 April 2025 Revised: 03 July 2025 Accepted: 06 July 2025 Published online: 19 September 2025

Abstract

Background and objectives: Paper and cardboard, as biodegradable and lightweight materials, are widely used in the packaging of various industries. Coating paper improves its properties and enhances print quality. Biopolymer coatings have advantages over conventional polymers due to their biodegradability and non-toxicity. The aim of this study is to prepare a coated cardboard sheet with nanomaterials and mineral compounds as a packaging tool and to evaluate the physical properties and printability of white liner paper from Mazandaran Wood and Paper Company. Various amounts of three materials—nanographene, zein protein, and fluorine—along with an acrylamide resin were used for coating the paper using a blade method. The properties examined included thickness, ash paper content, air permeability, roughness, opacity, whiteness, brightness, yellowness, gloss, optical density, and adhesion. This research investigates the effect of surface coating of cardboard (top liner) with nanographene, protein solutions, and mineral materials. Therefore, the goal of this study is to create a barrier against air permeation by coating the outer surface of the cardboard (top liner) with one or more layers of coating that include nanographene, protein solutions, and mineral materials. This coating is designed as the first layer of the cardboard that is in direct contact with the outside, aiming not only to reduce the interaction between the inside and outside of the cardboard but also to enhance printability.

Methodology: The white liner paper with a basis weight of 110 grams was obtained from the Mazandaran Wood and Paper Company. The AO-4 type nanographene was sourced from Graphene Supermarket in the USA, Zein protein from Sigma Aldrich, and fluorine from the Minekavan production group. For coating, nanographene, zein, and fluorine were weighed according to specified weight percentages and mixed with 100 grams of distilled water at 50 degrees celsius for 30 minutes, depending on the treatment conditions. Then, 2.5 grams of styrene-butadiene latex and 0.5 grams of dispersant D200 were added to the mixture and homogenized for 20 minutes at 1500 RPM. A 5% cationic starch solution was also used as a retention aid to enhance the coating. This process resulted in eight different treatments of the white liner paper, each specifically coated with different compositions. The treatments are as follows: Treatment 1, control white liner (CWL); Treatment 2, graphene-coated white liner (WLG); Treatment 3, zein-coated white liner (WLZ); Treatment 4, fluorine-coated white liner (WLF); Treatment 5, graphene and zein-coated white liner (WLZG); Treatment 6, graphene and fluorine-coated white liner



(WLFG); Treatment 7, fluorine and zein-coated white liner (WLFZ); Treatment 8, graphene, zein, and fluorine-coated white liner (WLZFG). The physical and optical properties were measured according to standard methods. The experimental design was completely randomized. Data analysis was performed using one-way analysis of variance and Duncan's test at a 95% confidence level.

Results: The results of the one-way analysis of variance indicated that there is not a significant difference in thickness, ash content, air permeability, roughness, opacity, whiteness, brightness, yellowness, gloss, and optical density of these papers at a 5% probability level. The greatest thickness is associated with the white liner paper coated with zein and fluorine, while the least thickness belongs to the control sample. Regarding ash content, the highest amount is found in the white liner paper coated with fluorine and graphene. For air permeability, the paper coated with fluorine and nanographene shows the best performance. Roughness results indicate that the white liner paper coated with zein and fluorine has the highest roughness. Additionally, the lowest levels opacity and whiteness are related to the white liner paper coated with zein, nanographene, and fluorine. The adhesion test showed that the coated layers and flexo composite adhered well to the paper.

Conclusion: The results obtained from microscopic studies showed that the addition of nanographene, zein, and fluorine improved the quality of the fiber coating on the paper, and using the laboratory coating method allowed for a more uniform surface to be created on the coated paper. A significant increase in paper thickness was observed, attributed to changes in the thickness of the base paper. Air permeability increased significantly with coating, and in some cases, this resistance was so high that it could not be measured. The use of fluorine and zein resulted in maximum roughness, while nanographene produced the least roughness. Additionally, the opacity of the papers decreased after coating. Furthermore, optical density improved in the composite coatings, indicating better print quality. The results suggest that the adhesion of the coating layer to the flexo ink was excellent, and compared to the uncoated samples, the amount of paper delamination was lower. Finally, this study indicates that the use of nanomaterials and biodegradable protein and mineral materials can significantly enhance the printability characteristics of coated papers, making them a suitable alternative to synthetic plastic and polymer materials.

Keywords: Coating, white liner, Mazandaran wood and paper, printable paper.

ارزیابی اثر پوشش با نانوگرافن، ژئین و فلورین روی ویژگی‌های فیزیکی و چاپ‌پذیری کاغذ لایتر سفید کارخانه چوب و کاغذ مازندران

جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی^{۱*} و احمد ثمریها^۲

^۱ - نویسنده مسئول، دانشیار، گروه چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران، پست‌الکترونیک: kasmani@iau.ac.ir

^۲ - استادیار، گروه علوم مهندسی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۱۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: کاغذ و مقوا به‌عنوان یک ماده زیست‌تخریب‌پذیر و سبک در بسته‌بندی صنایع مختلف کاربرد دارد. پوشش‌دهی کاغذ ویژگی‌های آن را بهبود بخشیده و کیفیت چاپ را افزایش می‌دهد. پوشش‌های زیست‌پلیمری به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری و غیرسمی بودن، نسبت به پلیمرهای معمولی برتری دارند. هدف این مطالعه آماده کردن یک ورق مقوایی پوشش داده شده با نانو مواد و ترکیبات معدنی به‌عنوان یک وسیله برای بسته‌بندی و ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و چاپ‌پذیری کاغذ لایتر سفید کارخانه چوب و کاغذ مازندران است. از مقادیر مختلف سه ماده نانو گرافن، پروتئین ژئین و فلورین به همراه رزین آکریل آمید برای اندودزنی این کاغذ به روش تیغه‌ای استفاده شد. ویژگی‌های مورد بررسی شامل: ضخامت، مقدار خاکستر کاغذ، مقاومت به عبور هوا، زبری، مات، سفیدی، روشنی، زردی، براقیت، دانسیته نوری و چسبندگی بودند. هدف این تحقیق ایجاد مانع در برابر عبور هوا از طریق پوشش‌دهی سطح بیرونی کارتن (لایتر رویه) است. این پوشش به‌عنوان اولین لایه کارتن که به‌طور مستقیم با بیرون در تماس است، طراحی شده است تا علاوه بر کاهش ارتباط داخل و خارج مقوا، خواص چاپ‌پذیری را نیز بهبود ببخشد.

مواد و روش‌ها: کاغذ لایتر سفید با گراماژ ۱۱۰ گرم از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. نانوگرافن نوع AO-4 از شرکت گرافن سوپرمارکت آمریکا، پروتئین ژئین از شرکت سیگما آلدیچ و فلورین نیز از گروه تولیدی معدن کاوان تأمین گردید. به‌منظور پوشش‌دهی، نانوگرافن، ژئین و فلورین با درصدهای وزنی مشخص توزین و متناسب با شرایط تیمار، به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با ۱۰۰ گرم آب مقطر مخلوط شدند. سپس ۲/۵ گرم لاتکس استایرن بوتادین و ۰/۵ گرم پراکننده ساز D200 به مخلوط اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه با دور ۱۵۰۰ همگن گردیدند. برای افزایش پوشش، محلول نشاسته کاتیونی (۵ درصد) به‌عنوان یک کمک نگهدارنده استفاده شد. این فرایند منجر به هشت نوع تیمار مختلف از کاغذ لایتر سفید می‌شود که هر یک به‌طور خاص با ترکیبات متفاوت پوشش‌دهی شده‌اند. تیمارها به شرح زیر هستند: تیمار ۱، لایتر سفید شاهد (CWL)، تیمار ۲، لایتر سفید پوشش‌داده شده با نانوگرافن (WLG)، تیمار ۳، لایتر سفید پوشش‌داده شده با ژئین (WLZ)، تیمار ۴، لایتر سفید پوشش‌داده شده با فلورین (WLF)، تیمار ۵، لایتر سفید پوشش‌داده شده با نانوگرافن و ژئین (WLZG)، تیمار ۶، لایتر سفید پوشش‌داده شده با نانوگرافن و فلورین (WLFZ)، تیمار ۷، لایتر سفید پوشش‌داده شده با فلورین و ژئین (WLFZ)، تیمار ۸، لایتر سفید پوشش‌داده شده با نانوگرافن، ژئین و فلورین (WLZFG) و خواص فیزیکی و نوری براساس استانداردهای مربوطه اندازه‌گیری شد. طرح آزمایشی از نوع کاملاً تصادفی بوده و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد انجام گردید.

نتایج: نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین ضخامت، خاکستر، مقاومت به عبور هوا، زبری، مات، سفیدی، روشنی، زردی، براقیت و دانسیته نوری این کاغذها در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در مورد خاکستر، بیشترین میزان مربوط به کاغذ لایتر سفید پوشش‌دار با فلورین و گرافن بود. در مورد مقاومت به عبور هوا، کاغذ پوشش‌دار با فلورین و نانوگرافن بهترین عملکرد را داشت. نتایج زبری نشان داد که کاغذ لایتر سفید پوشش‌دار با ژئین و فلورین دارای بیشترین زبری است. همچنین، کمترین میزان مات و سفیدی مربوط به کاغذ لایتر سفید پوشش‌دار با ژئین، نانوگرافن و فلورین بود. آزمون چسبندگی نشان داد که لایه‌های پوشش‌دار

و مرکب فلکسو به خوبی به کاغذ چسبیده‌اند.

نتیجه‌گیری: نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات میکروسکوپی نشان داد که افزودن نانو گرافن، زئین و فلورین باعث بهبود کیفیت پوشش الیاف کاغذ می‌شود. در مورد ضخامت کاغذ، افزایش معنی‌داری مشاهده شد که به دلیل تغییرات ضخامت کاغذ پایه است. مقاومت به عبور هوا با پوشش‌دهی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته و در برخی موارد این مقاومت به حدی بالا بود که قابل اندازه‌گیری نبود. استفاده از فلورین و زئین منجر به حداکثر زبری شد، در حالی که نانو گرافن کمترین زبری را ایجاد کرد. همچنین، ماتی کاغذها پس از پوشش‌دهی کاهش یافت. به‌علاوه، دانسیته نوری در پوشش‌های ترکیبی بهبود یافت که نشان‌دهنده کیفیت بهتر چاپ بود. نتایج نشان می‌دهند که چسبندگی لایه پوشش به مرکب فلکسو عالی بوده و در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش، میزان کنده شدن کاغذ پایه کمتر بود. درنهایت، این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از نانو مواد و مواد معدنی و پروتئینی زیست‌تخریب‌پذیر می‌تواند بهبود قابل‌توجهی در ویژگی‌های چاپ‌پذیری کاغذهای پوشش‌دار ایجاد کند و این مواد می‌توانند جایگزینی مناسب برای مواد پلاستیکی و پلیمرهای سنتزی باشند.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌دهی، لایتر سفید، چوب و کاغذ مازندران، چاپ‌پذیری کاغذ

مقدمه

کاغذ ماده‌ای زیست‌تخریب‌پذیر است که به دلیل هزینه کم، وزن سبک و قابلیت بازیابی به‌طور فزاینده‌ای در بسته‌بندی مواد در صنایع مختلف استفاده می‌شود. پوشش‌دهی برای بهینه‌سازی ویژگی‌های سطح کاغذ برای نیازهای خاص استفاده می‌شود. کاغذهای پوشش داده‌شده، براقیت (gloss)، درخشندگی و جذابیت کار چایی و کیفیت محصول تولیدشده نهایی را افزایش می‌دهند. پوشش‌دهی همچنین سفیدی و ماتی کاغذ را افزایش داده و از طریق تنظیم قابلیت نگهداشت مرکب در سطح کاغذ، رسیدن به میزان براقیت مورد نظر را امکان‌پذیر می‌کند.

پوشش‌های زیست‌پلیمری فواید زیست‌محیطی بهتری مانند زیست‌تخریب‌پذیری، قابلیت بازیابی، غیرسمی بودن و زیست‌سازگاری در مقایسه با پلیمرهای مرسوم دارند (Gatto et al., 2019). به‌منظور بهبود ویژگی‌های کاغذ، مواد زیست‌تخریب‌پذیر را می‌توان بر روی مقوا پوشش داد. بسیاری از کاغذها را برای اینکه ویژگی‌های نوری و چاپ‌پذیری آنها بهبود یابد می‌توان با ترکیبات مختلف پوشش داد (Dashtbani et al., 2013).

نانوگرافن به‌عنوان یک ماده نوآورانه در صنعت کاغذسازی شناخته می‌شود که می‌تواند خواص مکانیکی و حرارتی کاغذ را به‌طور قابل‌توجهی بهبود ببخشد (Liu et al., 2012). استفاده از نانوگرافن در تولید کاغذ می‌تواند به

افزایش استحکام، کاهش وزن و بهبود مقاومت در برابر آب و آتش منجر شود (Gadakh et al., 2020).

زئین، پروتئین اصلی موجود در دانه ذرت است که حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از کل پروتئین‌های ذرت را تشکیل می‌دهد و به دلیل خواص منحصربه‌فرد خود، به‌طور فزاینده‌ای در صنعت کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chen et al., 2022). این پروتئین به‌عنوان یک ماده افزودنی طبیعی، به بهبود استحکام و مقاومت کاغذ کمک می‌کند و می‌تواند به کاهش استفاده از مواد شیمیایی سنتزی در فرایند تولید کاغذ منجر شود (Pérez-Guzmán et al., 2020).

فلورین به‌عنوان یک عنصر کلیدی در بهبود خواص آب‌گریزی و مقاومت به رطوبت کاغذ شناخته می‌شود و می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد کاغذ در کاربردهای خاص را افزایش دهد (You et al., 2015). استفاده از ترکیبات فلورین در پوشش‌دهی کاغذ، باعث بهبود خاصیت ضد لک و دوام آن در برابر عوامل محیطی می‌شود (Guzman-Puyol, 2024).

Nazarneshad و همکاران (۲۰۲۲)، تأثیر افزودن زئین به‌عنوان یک عامل پوشش‌دهی را بر ویژگی‌های مقاومتی و ممانعتی مقوای لایتر بررسی کرده‌اند. در این تحقیق، زئین در سطوح ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ گرم بر لیتر اسید اتانول (۹۵ درصد) و با دو نسبت نرم‌کننده گلیسرول (۵/۰ و ۱ درصد بر پایه وزن خشک زئین) برای پوشش‌دهی کاغذ لایتر استفاده شده است.

به‌طور کلی، این تحقیقات تأکید می‌کنند که استفاده از مواد مختلف مانند ژئین، گلو تن و نانوکامپوزیت‌ها در تولید فیلم‌ها و کاغذهای پوشش‌دار می‌تواند به بهبود خواص ممانعتی و عملکرد کلی آنها کمک کند.

کیفیت ظاهری و خواص چاپ‌پذیری کاغذ تولیدی در ایران مانند براقیت و چاپ‌پذیری، مطلوب نبوده و دارای ثبات ابعادی مناسبی در هنگام چاپ نیستند. به‌منظور ایجاد مقاومت در برابر رطوبت و هوا، این کاغذ پوشش‌دهی رزینی می‌شود. اگر از الیاف بازیافتی با کیفیت پایین به‌عنوان ماده خام استفاده شود، اعمال یک مرحله پوشش‌دهی سطحی برای ایجاد مقاومت‌های کافی، لازم است. پوشش‌دهی می‌تواند در یک یا چند مرحله انجام شود که هر یک بر حسب نوع مصرف و درجه مورد نیاز انجام می‌شود. هدف این تحقیق ایجاد ممانعتی در برابر عبور هوا از طریق پوشش‌دهی سطح بیرونی کارتن (لایر رویه) با یک یا چند لایه پوشش شامل نانوگرافن، ژئین و فلورین است. این پوشش به‌عنوان اولین لایه کارتن که به‌طور مستقیم با بیرون در تماس است، طراحی شده تا علاوه بر کاهش ارتباط داخل و خارج مقوا، خواص چاپ‌پذیری را نیز بهبود ببخشد.

مواد و روش‌ها

کاغذ پایه: کاغذ لایر سفید مورد استفاده از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. گراماژ این کاغذ ۱۱۰ گرم بر مترمربع 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 ژئین: پروتئین ژئین (پروتئین ذرت) از شرکت سیگما آلدريج 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)

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش غلظت نرم‌کننده در محلول پوشش، مقاومت به عبور هوا و روغن به‌طور قابل توجهی افزایش یافته، در حالی که میزان جذب آب تحت تأثیر منفی قرار گرفته است. همچنین، با افزایش وزن ماده پوشش، شاخص مقاومت به کشش و ترکیدن افزایش یافته، اما مقاومت به پارگی کاهش یافته است.

تحقیقات اخیر در زمینه ویژگی‌های ممانعتی فیلم‌های پلیمری و کاغذهای پوشش‌دار نشان‌دهنده تأثیر مثبت مواد مختلف بر بهبود خواص ممانعتی این محصولات است. [Tihminlioglu](#) و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی عملکرد ممانعتی فیلم‌های پلی‌پروپیلن پوشش‌دار با ژئین ذرت پرداختند. آنان با حل کردن مقادیر ۵ و ۱۵ درصد ژئین در محلول اتانول آبی و افزودن دو نوع نرم‌کننده، دریافتند که پوشش ژئین به‌طور قابل توجهی ممانعت به اکسیژن و بخار آب را بهبود می‌بخشد و نفوذپذیری به بخار آب با افزایش غلظت ژئین کاهش می‌یابد.

در مطالعه‌ای دیگر، [Guillaumem](#) و همکاران (۲۰۱۰) ویژگی‌های کاغذهای پوشش‌دار با گلو تن گندم را برای بسته‌بندی غذا بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که نفوذ گلو تن به آب‌دوستی و زبری کاغذ وابسته است و این عوامل تأثیر مستقیمی بر خواص ممانعتی کاغذ دارند.

[Tihminlioglu و Ozcalik](#) (۲۰۱۳) نیز به بررسی خواص ممانعتی فیلم‌های پلی‌پروپیلن پوشش‌دار با نانوکامپوزیت ژئین پرداختند. آنان دریافتند که اختلاط مونت‌موریلونیت با ماتریس ژئین موجب بهبود ممانعت در برابر اکسیژن و بخار آب می‌شود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت‌ها می‌توانند نقش مهمی در افزایش کارایی مواد پوشش‌دهنده ایفا کنند.

در نهایت، در مطالعه‌ای توسط [Singhal](#) و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر مواد پوشش‌دهنده و پرکننده‌ها بر ویژگی‌های ممانعتی و ساختاری کاغذ و فیلم‌های پلیمری مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعات به‌وضوح نشان می‌دهد که انتخاب صحیح مواد اولیه می‌تواند به بهبود قابل توجه خواص ممانعتی و ساختاری این محصولات منجر شود.

از شرکت سیماب رزین با مشخصات مندرج در جدول ۱ تهیه شد.

لاتکس 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 مشخصات مندرج در جدول ۱ تهیه شد.

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.

جدول ۱- مشخصات نانو گرافن، پروتئین زئین، فلورین و رزین آکریل آمید

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

درصدهای وزنی مشخص به‌طور جداگانه توزین شدند. با توجه به شرایط تیمار، هریک از مواد پوشش‌دهی به‌صورت

پوشش‌دهی کاغذ پایه برای پوشش‌دهی، ابتدا نانو گرافن، زئین و فلورین با

مجزا و ترکیبی به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با ۱۰۰ گرم آب مقطر مخلوط شد و بعد با افزودن

محلول‌های پوششی با استفاده از Auto Bar Coater (GBC - A4 GIST Co., Ltd) روی ورق‌های کاغذ اعمال شد. حجم ۲۷ میلی‌لیتر از محلول پوشش از یکسو بر روی کاغذ ریخته و یک میله اپلیکاتور بلافاصله در طول صفحات کاغذ جارو شد. سرعت پوشش روی ۲۵ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد. ورق‌های کاغذ پوشش داده شده در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت در 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 و طبق استاندارد ISO 187 قرار گرفتند.

۲/۵ گرم لاتکس استایرن بوتادی ان و ۰/۵ گرم پراکنده‌ساز D200، به مدت ۲۰ دقیقه دوباره در داخل دستگاه مخلوط‌کن با دور گردش ۱۵۰۰ rpm برای به دست آوردن یک مخلوط همگن، با یکدیگر ترکیب شدند. این محلول، همراه با نشاسته کاتیونی در غلظت ۵ درصد (براساس وزن خشک)، به عنوان یک کمک نگهدارنده برای افزایش پوشش و دستیابی به توزیع یکنواخت‌تری از مواد پوششی بر روی سطح کاغذ استفاده شد. محلول نشاسته با حل کردن ۵ گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه که منجر به غلظت ۵ درصد شد. مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد پخته شد. سپس در یک حمام آب با دمای ثابت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری و برای پوشش سطح استفاده شد (Asadi [\(Khansari et al, 2017\)](#)).

جدول ۲- ترکیب کدها و شرایط تیمارها

Table 2- Combination of codes and treatment conditions

Treatment number	Treatment code	Descriptions
1	CWL	Control White Liner
2	WLG	White Liner Coated with Nanographene
3	WLZ	White Liner Coated with Zein
4	WLF	White Liner Coated with Fluorine
5	WLZG	White Liner Coated with Nanographene and Zein
6	WLFG	White Liner Coated with Nanographene and Fluorine
7	WLFZ	White Liner Coated with Fluorine and Zein
8	WLZFG	White Liner Coated with Nanographene, Zein, and Fluorine

TRI Gloss واقع در پژوهشگاه رنگ استفاده شد. یادآوری می‌شود به منظور بررسی میزان براقیت، ابتدا فیلمی با ضخامت ۶ میکرون از مرکب فلوئورگرافی روی کاغذها تهیه شده، سپس به کمک دستگاه براقیت‌سنج میزان براقیت نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است. برای اندازه‌گیری دانسیته نوری از دستگاه مدل اسپکترومتریتر استفاده شد. انجام آزمون چاپ با کشیدن فیلم مرکب چاپ فلکسو پایه حلال توسط اعمال‌گر مرکب با میله شماره ۸ در مؤسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش اجرا شد.

محاسبات آماری

طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق، از نوع کاملاً

اندازه‌گیری خواص کاغذ

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و 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)، مقاومت به عبور هوا (استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۲۵)، خواص نوری شامل روشنی و زردی (ASTM D523)، ماتی (ASTM D589-97) و خواص چاپ‌پذیری شامل چسبندگی (ASTM 2010S) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری براقیت از دستگاه براقیت‌سنج از نوع Ihara Xrite PANTONE I1 BYK Gardner- Micro S900

نتایج

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 معنی داری در جدول ۳ آورده شده است.

تصادفی بوده و برای پردازش نتایج حاصل از اندازه گیری ها از نرم افزار SPSS (نسخه ۲۳) استفاده شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها از تجزیه واریانس یک طرفه و برای مقایسه میانگین ها از آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد استفاده شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی داری) اثر متغیرهای ساخت بر ویژگی های فیزیکی و نوری و چاپ پذیری

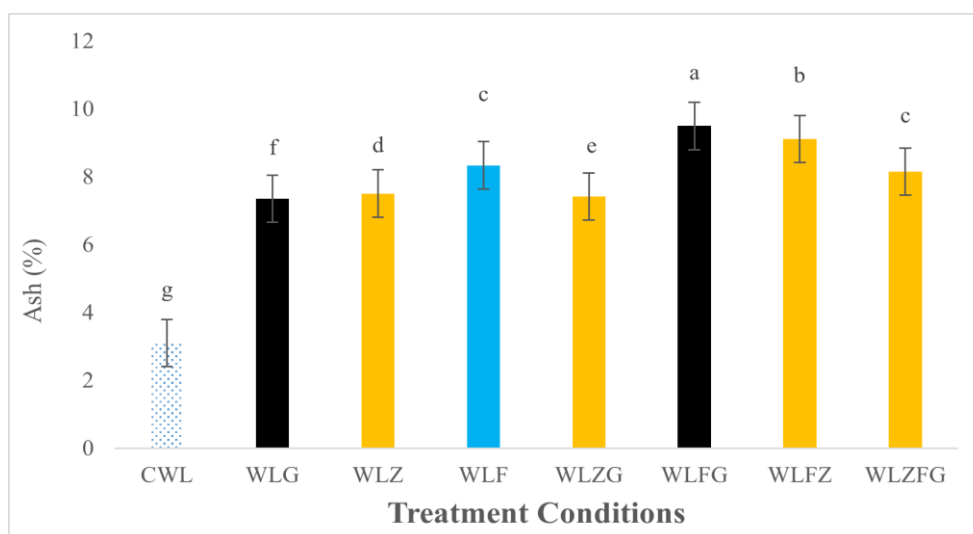
Table 3 - Analysis of variance (F value and significance level) of the effect of manufacturing variables on physical and optical properties and printability

Feature	Variables
Ash (%)	115842.857*
Air permeability (S)	673844.104*
Roughness (μm)	103.530*
Opacity (%)	23314.286*
Whiteness (%)	17886.804*
Brightness (%)	51506.357*
Yellowness (%)	573901.195*
Gloss (%)	1858880.357*
Optical density	59.946*

Significance Level: * 95% ($p < 0.05$), ns: Not Significant

به صورت ترکیبی استفاده می شود، این موضوع منجر به یکدست و صاف شدن بیشتر سطح و اشغال فضاهای خالی درونی و سطحی می گردد. در نتیجه، افزایش ضخامت کاغذ بیشتر خواهد بود. نتایج حاصل از بررسی زبری سطح نیز با این استدلال سازگاری و انطباق دارد (Elyasi & Jalali, 2017).

با توجه به اینکه کاغذ به عنوان یک ساختار متخلخل و با سطح ناصاف و توپوگرافی ناهمگن شناخته می شود، استفاده از یک نوع مواد پوششی می تواند منجر به نفوذ کمتر مواد به درون ساختار متخلخل آن شود. در این حالت، مواد در فضاهای ناصاف و برجستگی های سطح جاگیر شده و افزایش چشمگیر ضخامت بروز نمی کند؛ اما زمانی که از مواد پوششی



شکل ۱- مقایسه میانگین خاکستر کاغذهای مختلف

Figure 1. Comparison of means ash content of different papers.

۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد و مقادیر ماتی در کلیه تیمارها در شش گروه می‌باشد. شکل (۳ الف) میانگین تغییرات ماتی را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۳ الف) نشان می‌دهد که بیشترین میزان ماتی مربوط به کاغذ لاینر سفید پوشش داده شده با ژئین، نانوگرافن و فلورین است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های لاینر سفید پوشش داده شده با نانوگرافن می‌باشد. نانوگرافن به دلیل پر کردن فضاهای خالی بین الیاف و با کاهش تفرق نور، ماتی نمونه پوشش داده شده را کاهش می‌دهد ([Sodeifi et al., 2019](#))

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر سفیدی ۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد و مقادیر سفیدی در کلیه تیمارها در هشت گروه می‌باشد. شکل (۳ ب) میانگین تغییرات سفیدی را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۳ ب) نشان می‌دهد که بیشترین میزان سفیدی مربوط به کاغذ لاینر سفید پوشش داده شده با فلورین است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های لاینر سفید پوشش داده شده با نانوگرافن می‌باشد.

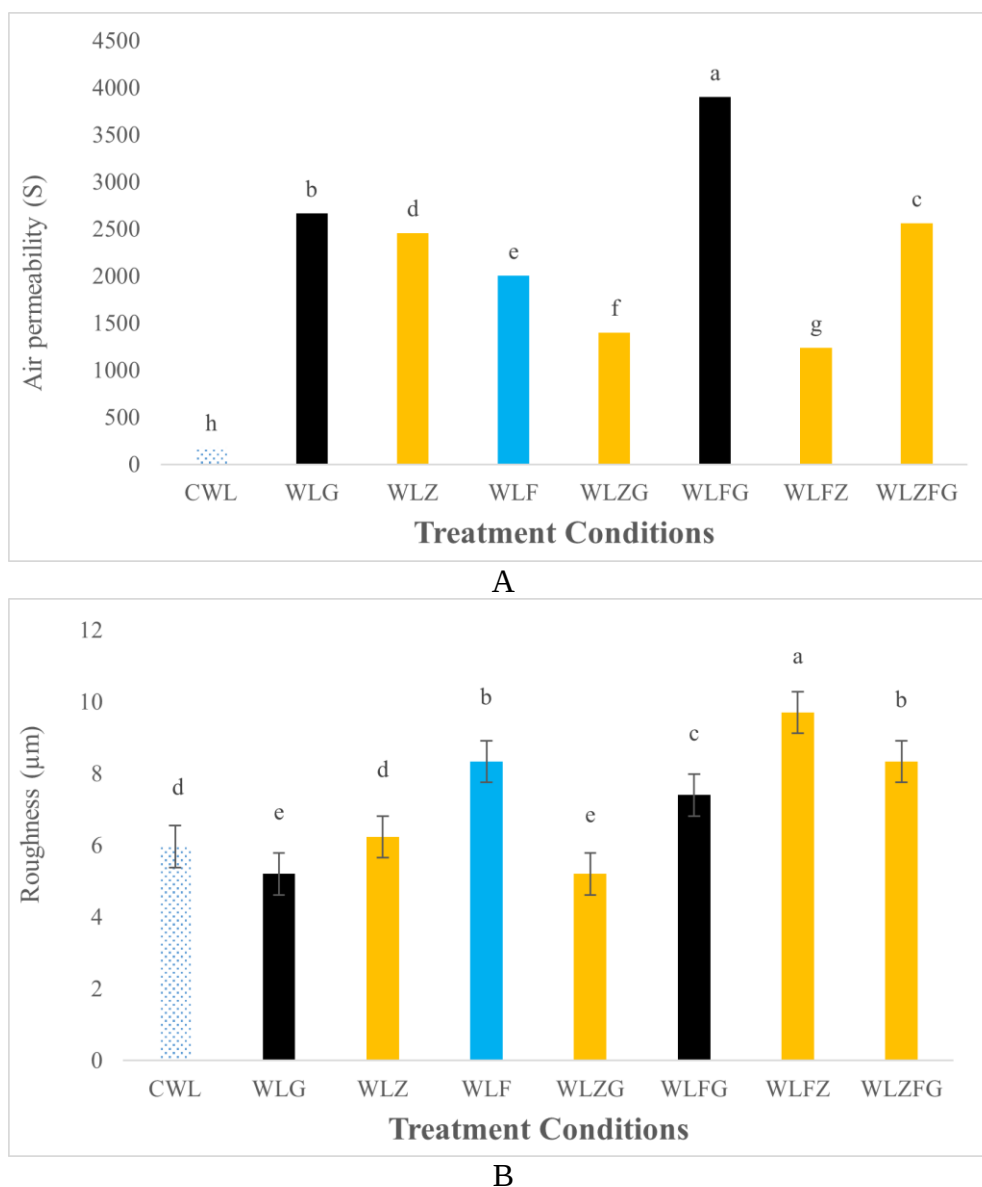
کاغذهای دست‌ساز پر شده با فلورین به دلیل وجود ناخالصی‌ها و کمتر بودن سطح ویژه ذرات، دارای درجه روشنی کمتری بوده‌اند. استفاده از رنگدانه سفید تنها عامل سفیدی کاغذها نیست و عوامل دیگری مانند اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی ذرات نیز تأثیر زیادی در این ارتباط دارند. تیمار کاغذها با فلورین به دلیل ابعاد بسیار کم باعث شد این کاغذها از سفیدی بیشتری برخوردار باشند ([Hosseini et al., 2017](#)).

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر خاکستر ۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد و مقادیر خاکستر در هشت گروه می‌باشد. شکل (۱) میانگین تغییرات خاکستر را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۱) نشان می‌دهد که بیشترین میزان خاکستر مربوط به کاغذ لاینر سفید پوشش داده شده با فلورین و گرافن است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های کاغذ لاینر سفید بدون پوشش می‌باشد.

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر مقاومت به عبور هوا ۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد و مقادیر مقاومت به عبور هوا در کلیه تیمارها در هشت گروه قرار داشته است. شکل (۲ الف) میانگین تغییرات مقاومت به عبور هوا را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۲ الف) نشان می‌دهد که بیشترین میزان مقاومت به عبور هوا مربوط به کاغذ لاینر سفید پوشش داده شده با فلورین و نانوگرافن است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد می‌باشد.

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر زبری ۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد و مقادیر زبری در کلیه تیمارها در پنج گروه می‌باشد. شکل (۲ ب) میانگین تغییرات زبری را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۲ ب) نشان می‌دهد که بیشترین میزان زبری مربوط به کاغذ لاینر سفید پوشش داده شده با ژئین و فلورین است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های لاینر سفید پوشش داده شده با نانوگرافن می‌باشد.

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر ماتی

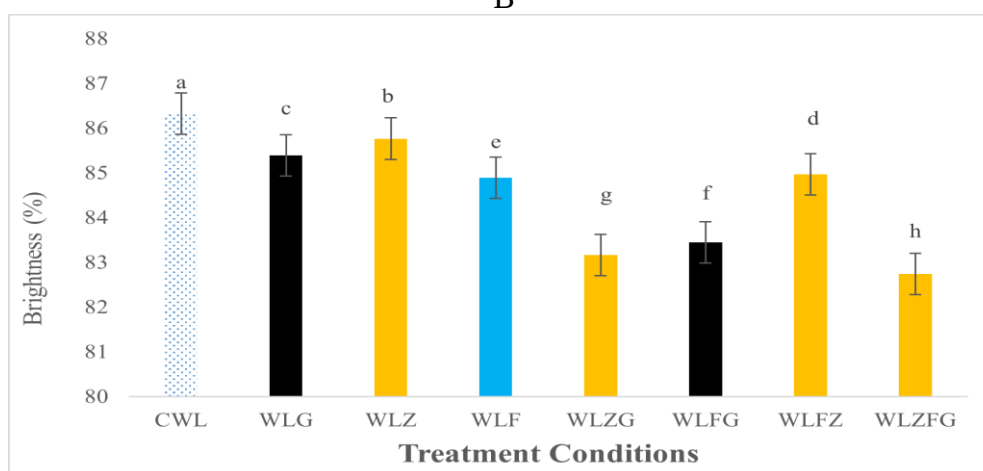
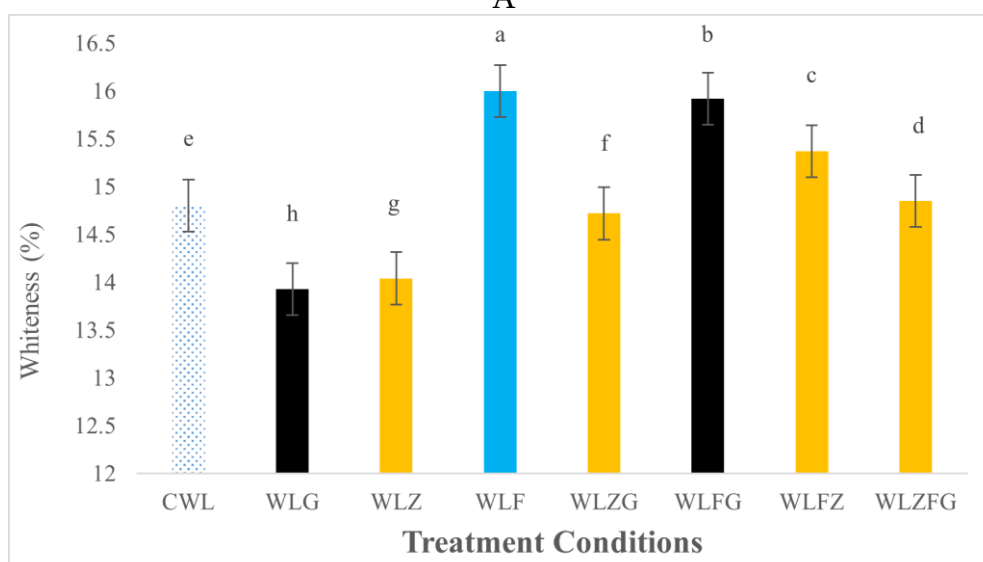
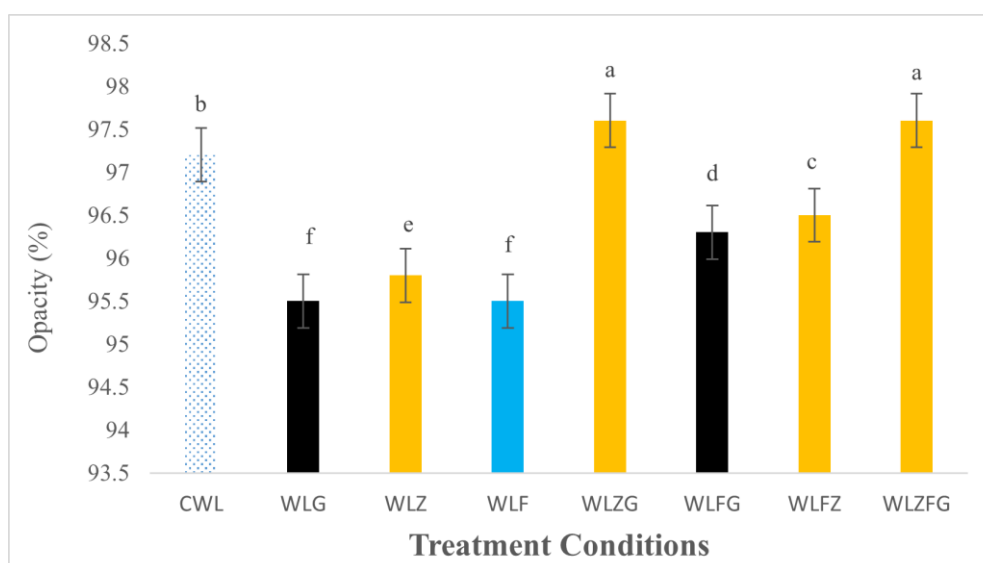


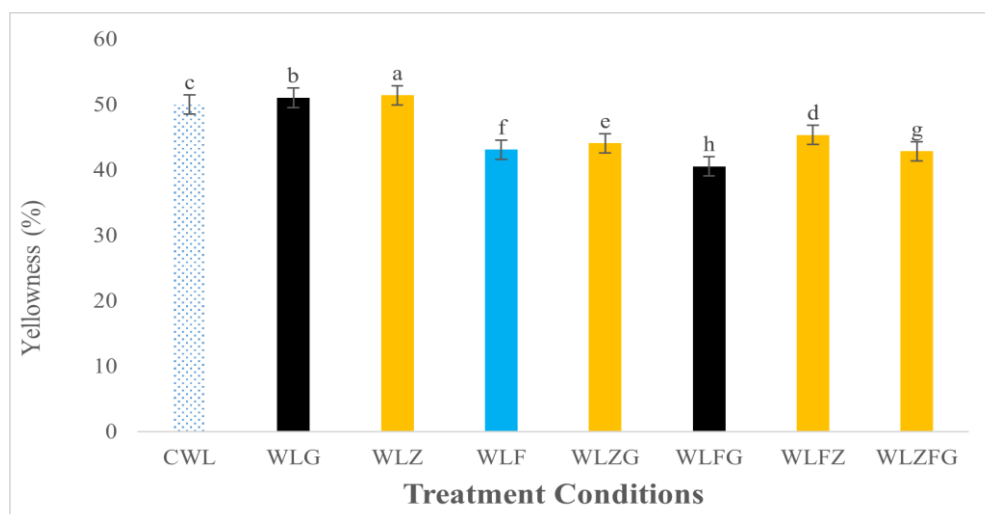
شکل ۲- مقایسه میانگین (A) مقاومت به عبور هوا، (B) زبری کاغذهای مختلف

Figure 2. Comparison of means: (A) Air permeability, (B) Roughness of different papers

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر زردی ۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود دارد و مقادیر روشنی در کلیه تیمارها در هشت گروه می باشد. شکل (۳ د) میانگین تغییرات زردی را برای ۸ نوع کاغذ نشان می دهد. شکل (۳ د) نشان می دهد که کمترین میزان زردی مربوط به کاغذ لایتر سفید پوشش داده شده با نانوگرافن و فلورین است و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه های کاغذ لایتر سفید پوشش داده شده با زئین می باشد.

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر روشنی ۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی داری وجود دارد و مقادیر روشنی در کلیه تیمارها در هشت گروه می باشد. شکل (۳ ج) میانگین تغییرات روشنی را برای ۸ نوع کاغذ نشان می دهد. شکل (۳ ج) نشان می دهد که کمترین میزان روشنی مربوط به کاغذ لایتر سفید پوشش داده شده با زئین، نانوگرافن و فلورین است و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه های کاغذ لایتر سفید شاهد می باشد.





D

شکل ۳- مقایسه میانگین (A) ماتنی، (B) سفیدی، (C) روشنی و (D) زردی کاغذهای مختلف

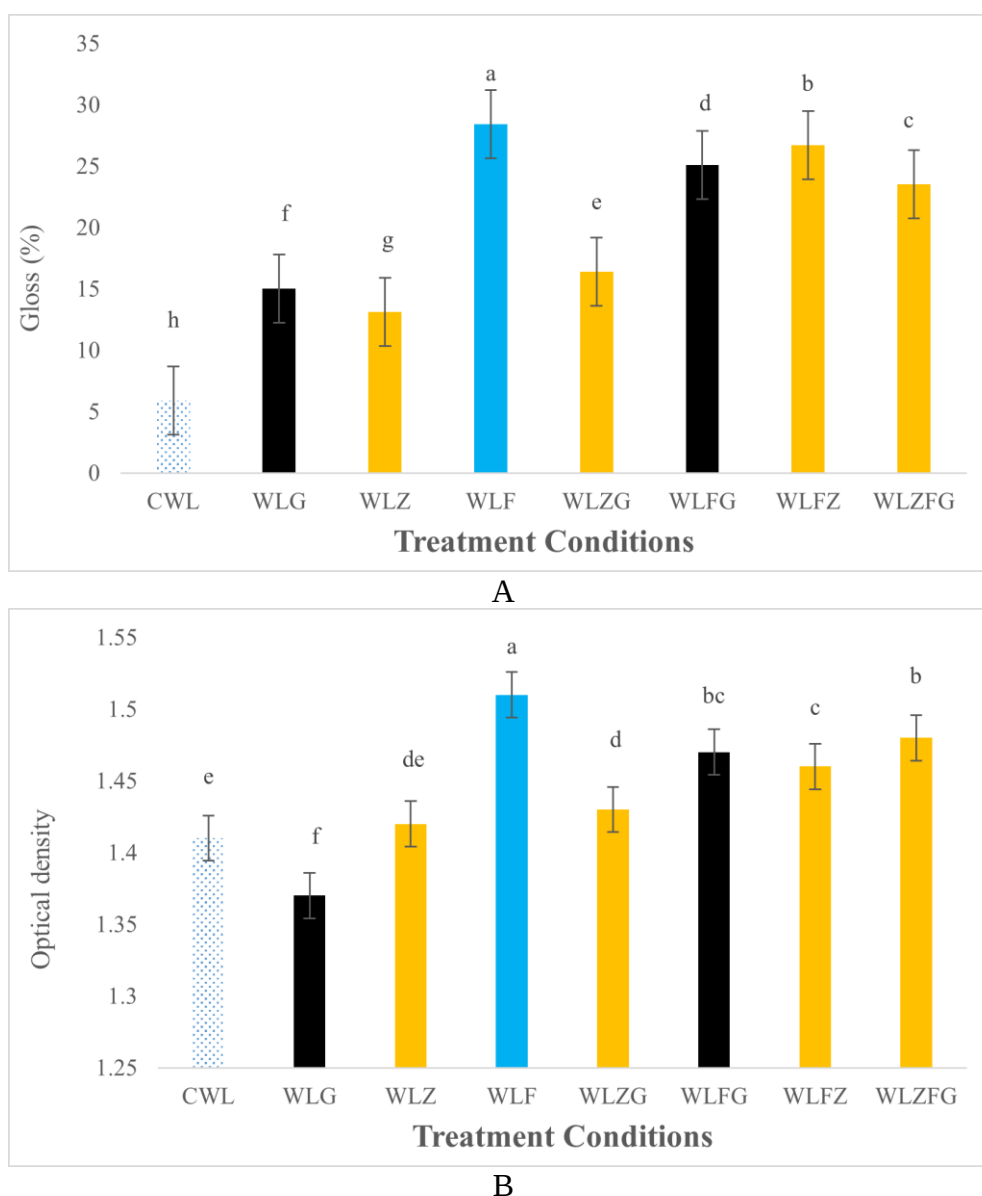
Figure 3. Comparison of means: (A) Opacity, (B) Whiteness, (C) Brightness, (D) Yellowness of different papers

نشان می‌دهد.

شکل (۴ ب) نشان می‌دهد که بیشترین میزان دانسیته نوری مربوط به کاغذ لاینر سفید پوشش داده شده با فلورین است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های کاغذ لاینر سفید پوشش داده شده با نانو گرافن می‌باشد. به منظور انجام آزمون چسبندگی، به میزان ۳ تا ۵ سانتی‌متر از چسب مورد نظر بر روی سطح فیلم مرکب فلکسو چسبانده می‌شود و پس از گذشت ۵ ثانیه از سطح فیلم با سرعت برداشته می‌شود. نتایج مشاهده شده از این آزمون نشان می‌دهد 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 می‌شود.

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر براقیت ۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد و مقادیر روشنی در کلیه تیمارها در هشت گروه می‌باشد. شکل (۴ الف) میانگین تغییرات براقیت را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۴ الف) نشان می‌دهد که بیشترین میزان براقیت مربوط به کاغذ لاینر سفید پوشش داده شده با فلورین است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های کاغذ لاینر سفید شاهد می‌باشد.

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر دانسیته نوری ۸ نوع کاغذ مورد آزمون، در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر دانسیته نوری در کلیه تیمارها در شش گروه می‌باشد. شکل (۴ ب) میانگین تغییرات دانسیته نوری را برای ۸ نوع کاغذ



شکل ۴- مقایسه میانگین (A) براقیت و (B) دانسیته نوری کاغذهای مختلف
 Figure 4. Comparison of means: (A) Gloss, (B) Optical density of different papers

بحث

در نتیجه ضخامت کاغذ افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار نانو مواد، مقاومت به عبور هوای کاغذ افزایش یافت که با نتایج [Tihminlioglu](#) و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. وجود نانوگرافن در محلول پوشش‌دهی، سبب ایجاد مقاومت به عبور هوای بیشتر کاغذ شد. این ماده با ایجاد پخش همگن مواد در سطح کاغذ، یک فیلم یکنواخت ایجاد می‌کند که باعث بهبود مقاومت به عبور هوا می‌شود و این

کاغذ به عنوان یک ساختار متخلخل با سطح ناصاف و توپوگرافی ناهمگن شناخته می‌شود. وقتی از یک نوع پوشش استفاده می‌شود، نفوذ مواد به درون ساختار کاغذ محدود می‌گردد و افزایش ضخامت قابل توجهی مشاهده نمی‌شود؛ اما در استفاده از ترکیب مواد پوششی، سطح کاغذ صاف‌تر شده و فضاهای خالی داخلی و سطحی اشغال می‌شود که

موضوع با نتایج [McHugh و Krochta \(۱۹۹۴\)](#) همخوانی دارد.

ترکیب مواد در فرایند پوشش‌دهی، به دلیل تشکیل یک لایه پلیمری در سطح کاغذ و ایجاد اتصال با الیاف سطح کاغذ و افزایش ضخامت کاغذ، منجر به افزایش مقاومت به عبور هوا می‌گردد ([Gällstedt et al., 2005](#)). علاوه بر درگیری مکانیکی بین پلیمرها و الیاف سلولزی که باعث افزایش مقاومت‌ها می‌گردد، امکان تشکیل پیوند هیدروژنی بین ترکیب‌های پوشش‌دهی با گروه‌های هیدروکسیل سطح و درون الیاف به دلیل وجود نانوگرافن افزایش می‌یابد. این پیوندها و درهم‌رفتگی مکانیکی بین سه ترکیب مورد استفاده در پوشش، همچنین پیوند شیمیایی با الیاف کاغذ، به بهبود و افزایش مقاومت کاغذها منجر می‌شود.

انعطاف‌پذیری بیشتر الیاف نیز موجب نفوذ بیشتر نانو مواد در ساختار کاغذها می‌شود که مقاومت به عبور هوا را افزایش می‌دهد ([Molaei et al., 2015](#)). همچنین، پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیل کاغذ و نانو مواد می‌تواند به بهبود پیوندهای بین مولکولی بین کاغذ و ترکیب‌های پوشش‌دهی کمک کند ([Marvizadeh et al., 2017](#)). نانوگرافن با پرکردن فضاهای بین سلولی، باعث نزدیک شدن الیاف سلولزی به یکدیگر می‌شود که نتیجه آن افزایش خاصیت ممانعتی کاغذ نهایی است ([Huang et al., 2016](#)). دلیل دیگر افزایش مقاومت به عبور هوا، این است که محلول پوشش در منافذ کاغذ نفوذ کرده و با ایجاد پیوند عرضی با ساختار کاغذ، یک سطح غیرقابل نفوذ در برابر هوا ایجاد می‌کند. افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذ پوشش‌داده شده ناشی از نفوذ مولکول‌های مواد پوششی به منافذ فیبری شبکه سلولزی است که منجر به تشکیل یک لایه نازک بر روی سطح مقوا می‌شود. این لایه با خواص مواد پوششی در ارتباط است تا ممانعت مؤثری را فراهم کند ([Reis et al., 2011](#)).

استفاده از ترکیب مواد پوششی، باعث نفوذ بیشتر محلول پوشش، به بستر سلولزی می‌شود. این نفوذ بیشتر، خلل و فرج بیشتری را پر می‌کند ([McHugh & Krochta, 1994](#)) که پس از خشک شدن کاغذ، محلول پوشش، تشکیل فیلم یا لایه

پلیمری یکنواختی را بر روی سطح کاغذ ایجاد می‌کند. کاغذ شبکه‌ای از الیاف به هم چسبیده سلولزی است که با وجود عبور از غلتک‌های مختلف در قسمت پرس و خشک-کن ماشین کاغذ، دارای خلل و فرج زیادی است و ناصافی (زبری) در سطح دارد. پر کردن خلل و فرج سطح کاغذ اساساً سبب بهبود خواص فیزیکی آن می‌شود ([Ebrahimpour et al., 2014](#)). مواد پوشش‌دهی در حفره‌های کوچک ورقه کاغذ قرار می‌گیرند و موجب کاهش غیریکنواختی سطح کاغذ می‌شوند. به این ترتیب، مواد پوشش‌دهی موجب کاهش زبری سطح کاغذ و کاهش تخلخل، یا به عبارتی افزایش مقاومت به عبور هوا می‌شوند. وزن پایه، ضریب جذب و ضریب پخش نور کاغذ از عوامل مؤثر بر ماتی کاغذ هستند و رابطه ماتی با این سه عامل به صورت مستقیم است. با افزایش یا کاهش هریک از سه عامل مذکور، مقدار ماتی نیز افزایش یا کاهش می‌یابد ([Afra & Narchin, 2016](#)). میزان تغییر ویژگی‌های نوری کاغذ پوشش‌داده شده به عواملی مانند نوع و مقدار اجزای پوشش مرتبط است. فرایند پوشش‌دهی کاغذ از طریق پر کردن حفره‌ها و فضای خالی بین الیاف به‌ویژه با مواد پروتئینی (زئین) موجب افزایش ماتی سطح کاغذ پوشش‌دهی شده می‌شود ([Ebrahimpour Kasmani et al., 2014](#)).

در این تحقیق، نانوگرافن به دلیل پرکردن فضاهای خالی بین پلیمرها و کاهش تفرق نور، به‌تنهایی تا حدی ماتی نمونه پوشش داده شده را کاهش می‌دهد. همچنین با افزودن نانوگرافن به زئین و فلورین، ماتی افزایش می‌یابد. سفیدی درواقع 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 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 است. عواملی مانند اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات و مورفولوژی ذرات نیز تأثیر زیادی در افزایش سفیدی کاغذهای پوشش-داده شده دارند.

ایجاد یک سطح صاف و بدون تداخل می‌شود که کیفیت چاپ را بهبود می‌بخشد. هنگامی که مرکب حاوی مواد پوششی بر روی سطح کاغذ قرار می‌گیرد، با تیخیر آب، مولکول‌های مواد پوششی، جانشین فضاهای خالی ناشی از تیخیر آب می‌شوند و فرورفتگی‌ها را پر می‌کنند و سطح براق تقریباً یکنواختی به وجود می‌آید، اما مرکب بدون مواد پوششی، این‌گونه نیست و سریع سفت می‌شود و سطح جلای حاصل از آن به صافی سطح مواد پوششی نیست و این دلیل تفاوت براقیت کاغذهای پوشش‌داده شده با نمونه شاهد بدون پوشش است.

در این آزمایش، دانسیته نوری، به عنوان معیاری برای جذب معرفی می‌شود. به طور کلی، هرچه عدد دانسیته نوری بالاتر باشد، نشان‌دهنده شدت جذب بیشتر و کیفیت رنگی بهتر است که چشم مشاهده می‌کند. البته افزایش دانسیته نوری بیانگر بهبود کیفیت چاپ نیز است.

نتایج آزمون چسبندگی نشان می‌دهد که میزان چسبندگی لایه پوشش داده شده و مرکب فلکسو به طور قابل توجهی عالی است، زیرا هر دو لایه به همراه سطح کاغذ (زیرآیند) به طور کامل توسط چسب جدا می‌شوند. در مقابل، در نمونه - های بدون پوشش، میزان کنده شدن کاغذ پایه به مراتب کمتر مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های کاغذ مورد استفاده در صنعت از عوامل مهم دستیابی به کیفیت مطلوب به شمار می‌رود. استفاده از پلیمرهای زیستی و تجدیدپذیر به عنوان مواد پوشش‌دهی برای کاغذ، دارای مزایای فراوانی است. این مواد به دلیل قابلیت بازیافت و تجزیه‌پذیری آسان، جایگزین مناسبی برای مواد پلاستیکی می‌باشند.

در این پژوهش با استفاده از نانوگرافن، زئین و فلورین که مواد زیستی محسوب می‌شوند، کاغذ لایر سفید کارخانه چوب و کاغذ مازندران پوشش‌دهی شد. نتایج تحقیق نشان داد که با پوشش‌دهی کاغذ، می‌توان مقاومت به عبور هوا را به طور قابل توجهی افزایش داد. همچنین استفاده از این مواد زیست تخریب‌پذیر می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های

مهمترین خواص از رنگدانه‌ها که بر خصوصیات کاغذ تأثیرگذار است، رنگ و روشنی هست، ذراتی با اندازه کوچک‌تر، شاخص انعکاس نور، ضریب پراکنش نور و روشنی بیشتر دارند و کارایی نوری بهتری ارائه می‌دهند. به دلیل بیشتر بودن روشنی اولیه و سطح ویژه پرکننده‌ها نسبت به لیاف، با افزودن آنها به کاغذ، مقدار روشنی کاغذ افزایش می‌یابد؛ بنابراین می‌توان دلیل افزایش درصد روشنی را به اندازه ذرات، ضریب شکست نور و سطح ویژه بیشتر ذرات استفاده شده نسبت داد (Perng et al., 2015).

بررسی خواص نوری کاغذ نشان داد که ترکیب کردن مواد پوشش‌دهی، تأثیر چشمگیری در کاهش درجه روشنی کاغذ دارد. به کارگیری پرکننده‌های معدنی سبب تغییر و کاهش روشنی در انواع کاغذها می‌شود. البته میزان این تغییرات تحت تأثیر ساختار کاغذ، اندازه و سطح ویژه پرکننده است. با پوشش‌دهی، میزان زردی به دلیل کاهش تشکیل گروه‌های کربوکسیل اندکی کاهش پیدا کرد.

در کاغذهای تولیدی کارخانه چوب و کاغذ مازندران، به دلیل دارا بودن لیگنین تغییر شکل یافته، پس از مدتی پدیده زرد شدن اتفاق می‌افتد. واضح است که اگر پوشش کاغذ بتواند موجبات ارتقاء این ویژگی را فراهم آورد و هم به عنوان مانعی از تأثیر نور بر زرد شدن (Photo yellowing) کاغذ باشد، پوشش‌دهی فرایندی کارآمد خواهد بود. مقایسه نتایج این ویژگی نشان داد که استفاده از پوشش‌دهی باعث افزایش زردی کاغذ می‌گردد، به طوری که نمونه کاغذ پوشش داده شده با زئین نسبت به نمونه شاهد ۲/۸ درصد افزایش زردی را نشان داد.

میزان براقیت به ساختار و منافذ سطحی بستگی دارد و افزایش براقیت کاغذهای پوشش‌داده شده، نشان‌دهنده بهبود کیفیت چاپ‌پذیری این کاغذهاست. براقیت یک فیلم زمانی به حداکثر می‌رسد که زاویه تابش برابر با زاویه انعکاس باشد. به نظر می‌رسد که مواد پوششی به جای اینکه تنها به عنوان نرم‌کننده در داخل مرکب عمل کند، به طور مؤثر آنها را پر کرده و باعث افزایش چسبندگی می‌شود.

پس از قرارگیری مرکب بر روی کاغذ، این فرایند منجر به

بستری یکدست برای پذیرش جوهر فراهم می‌کند. این موضوع به‌ویژه در چاپ‌های رنگی و با رزولوشن بالا که نیازمند دقت و ظرافت هستند، بسیار حائز اهمیت است. بنابراین بهبود ویژگی‌های فیزیکی و چاپ‌پذیری در کاغذهای پوشش داده شده، به ارتقاء کیفیت نهایی این محصولات منجر می‌شود.

چاپ‌پذیری کاغذهای پوشش داده شده شود. یکی از مهمترین دستاوردهای پوشش‌دهی در این تحقیق، بهبود چشمگیر کیفیت چاپ از طریق افزایش براقیت و دانسیته نوری است. افزایش براقیت و دانسیته نوری، خوانایی را بهبود می‌بخشد و برای چاپ کتاب‌ها، مجلات و اسناد مناسب هستند. درواقع پوشش، با پر کردن ناهمواری‌های سطح کاغذ،

References

- Afra, E., and Narchin, P., 2016. Study of the antibacterial effects and physical characters of paper coated with nanoclay and homogenized nano clay. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 7(4), 561-572.
- 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.
- Chen, H., Su, J., Brennan, C. S., Van der Meeren, P., Zhang, N., Tong, Y., & Wang, P. 2022. Recent developments of electrospun zein nanofibres: Strategies, fabrication and therapeutic applications. *Materials Today Advances*, 16, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2022.100307>
- Dashtbani, R., Resalati, H. and Afra, A., 2013. Investigating the Improvement of Antimicrobial and Resistance Properties of Packaging Paper Using Chitosan. *Promotional Scientific Quarterly of Packaging Sciences and Arts*, 4(13), 77-68. (In Persian).
- Ebrahimpour Kasmani, J., Mahdavi, S., and Samariha, S., 2014. Improvement of Physical Properties and Printability of Wood Containing Paper by Light Weight Coting. *Journal of Color Science and Tecnology*, 7, 265-274.
- Elyasi, S., & Jalali Torshizi, H. 2017. Concentration of Anionic starch Solution in Paper Surface Sizing on Physical and Strength Properties of Recycled Paper. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 7(4), 487-497. (In Persian).
- Gällstedt, M., Brottman, A., and Hedenqvist, M.S. 2005. Packaging-related Properties of Protein- and Chitosan-coated Paper. *Packaging technology and science*, 18(4): 167-170. <https://doi.org/10.1002/pts.685>
- Gadakh, D., Dashora, P., & Wadhankar, G. 2020. A review paper on graphene coated fibres. *Graphene*, 8(4), 53-74. <https://doi.org/10.4236/graphene.2019.84004>
- Gatto, M., Ochi, D., Yoshida, C.M.P. and da Silva, C.F., 2019. Study of Chitosan with Different Degrees of Acetylation as Cardboard Paper Coating. *Carbohydrate Polymers*, 210, 56-63. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.053>
- Guillaumem, C. Pinte, J., Gontard, N., and Gastaldi, E. 2010. Wheat gluten-coated paper for bio-based food packaging: Structure, surface and transfer properties. *Food research international*, 43(5), 1395-1401. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.014>
- Guzman-Puyol, S. 2024. Fluorinated compounds in paper and paperboard based food packaging materials. *npj Science of Food*, 8(1), 82. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00326-2>
- Hosseini, S. M., Saraeiyan, A., Ghasemian, A., & Dehghani, M. 2017. The effect of synthesis zeolite as pigment on paper physical properties. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 24(2), 143-156. doi: 10.22069/jwfst.2017.10975.1574. <https://doi.org/10.22069/jwfst.2017.10975.1574>
- Huang, Q., Xu, M., Sun, R., & Wang, X. 2016. Large scale preparation of graphene oxide/cellulose paper with improved mechanical performance and gas barrier properties by conventional papermaking method. *Industrial Crops and Products*, 85, 198-203. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.006>
- Kumar, N., Bhardwaj, N. K., & Chakrabarti, S. K. 2011. Influence of particle size distribution of calsum carbonate pigments on coated paper whiteness, *Journal of coatings technology and research*, 8(5), 613-618. <https://doi.org/10.1007/s11998-011-9353-y>
- Liu, Y., Xie, B., Zhang, Z., Zheng, Q., & Xu, Z. 2012. Mechanical properties of graphene papers. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 60(4), 591-605. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2012.01.002>
- Marvizadeh, M.M., Oladzadabbasabadi, N., Mohammadi Nafchi, A., and Jokar, M. 2017. Preparation and characterization of bionanocomposite film based on

- tapioca starch/bovine gelatin/nanorod zinc oxide. *International Journal of Biological Macromolecules*, 99, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.067>
- McHugh, T.H., and Krochta, J.M. 1994. Plasticized whey protein edible films: water vapor permeability properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(2), 416-419. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb06980.x>
- Molaei, M., Azadfallah, M., Hamzeh, Y., and Khodaeian Chegini, F. 2015. The effect of chitosan – poly (vinyl alcohol) coatings on strength and barrier properties of packaging paper. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30(2), 330-340.
- Nazarnezhad, N., Orand, M., Resalati, H. and rezanezhad, S. 2022. The effect of corn zein coating on the strength and barrier properties of liner paper. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 13(2), 213-223. (In Persian). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20089066.1401.13.2.8.8>
- Ozcalik, O., & Tihminlioglu, F. 2013. Barrier properties of corn zein nanocomposite coated polypropylene films for food packaging applications. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 505-513. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.005>
- Peng, Y.-S., Wang, E.I., Hsia, Y.-J. and Tsai, S.-H., 2015. Effects of different filler combination with talc and calcium carbonate on paper properties/printability. *Cellulose chemistry and technology*, 49, 511-516.
- Pérez-Guzmán, C. J., & Castro-Muñoz, R. 2020. A review of zein as a potential biopolymer for tissue engineering and nanotechnological applications. *Processes*, 8(11), 1376. <https://doi.org/10.3390/pr8111376>
- Sodeifi, B., Nazarnezhad, N., & Sharifi, S. H. 2019. Investigation of mechanical and optical properties of papers coated with Polycaprolactone - Nanocrystalline cellulose - zinc oxide Nanoparticle. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 34(1), 27-38. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijwpr.2019.124469.1508>
- Reis, B. R., Yoshida, C. M. P., Reis, A. P. and Franco, T. T., 2011. Application of chitosan emulsion as a coating on kraft paper. *Polymer International*, 60(6), 963 – 969. <https://doi.org/10.1002/pi.3023>
- Singhal, A. K., Kumar, S., Gupta, S., Bhardwaj, N. K., and Varadhan, R. 2015. Calcium sulphate as pigment for improved functional properties of coated paper. *Progress in Organic Coatings*, 79, 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2014.11.002>
- Tihminlioglu, F., Atik, İ. D., & Özen, B. 2010. Water vapor and oxygen-barrier performance of corn-zein coated polypropylene films. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 342-347. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.018>
- 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*, 160214. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.160214>