

The effect of separate and combined coating of nano graphene-fluorine-zein on the barrier and mechanical properties of brown kraft liner for fruit packaging

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

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, National University of Skills (NUS), Tehran, Iran.

Received: 07 October 2024 Revised: 11 January 2025 Accepted: 09 April 2025 Published online: 18 June 2025

Abstract:

Background and objectives: Fruit packaging cardboard protects fruits from impacts, pressure, and damage during transportation, while helping to maintain their freshness and quality. To achieve these objectives, it is essential to enhance the strength of the cardboard and minimize the interaction between its interior and exterior. At the same time, it must be biodegradable, durable, and environmentally friendly. Kraft paper is recognized as a suitable option for preserving the quality of fruits. Therefore, this research aims to improve the barrier and mechanical properties of cardboard by applying coatings of nano-graphene, fluorine, and zein, both separately and in combination, to provide consumers with higher quality cardboard.

Methodology: The brown kraft liner paper with a basis weight of 120 grams was obtained from the Mazandaran Wood and Paper Company. The nanographene type AO-4 was sourced from Graphene Supermarket in the USA, zein protein from Sigma Aldrich, and fluorine from Mine Kavarar Production Group. For coating, the nanographene, zein, and fluorine were weighed in specified weight percentages and mixed with 100 grams of distilled water for 30 minutes at 50 degrees Celsius, 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 added as a retention aid to enhance the coating. The coating solutions were applied to the paper sheets using an Auto Bar Coater (GBC - A4 GIST Co., Ltd). The physical and mechanical properties were measured according to TAPPI and ISO standards. The experimental design was completely randomized, and data analysis was performed using one-way ANOVA and Duncan's test at a 95% confidence level.

Results: The one-way ANOVA analysis indicated that there are significant differences at the 5% level among the thickness swelling, water absorption, and porosity of the 8 types of paper. The greatest thickness swelling was observed in the brown liner paper coated with graphene and fluorine, while the lowest thickness swelling was found in the control sample, with a difference of 27% between the maximum and minimum thickness swelling. The lowest water absorption was noted in the brown liner board paper coated with zein, fluorine, and nano-graphene, with a difference of 647.5% between the maximum and minimum water absorption. Additionally, the least porosity was attributed to the paper coated with nano-graphene, showing a difference of 7365.8% between the maximum and minimum porosity. Density analysis revealed that the highest



density was observed in the sample coated with zein and nano-graphene, with a difference of 14.5% between the maximum and minimum density. Furthermore, the highest surface smoothness was recorded in the paper coated with nano-graphene and zein, with a difference of 23.9% between the maximum and minimum surface smoothness. For the tensile and tear resistance index, no significant difference was observed at the 5% level, with differences of 15.5% and 26.4% between the maximum and minimum tensile and tear resistance indices, respectively. However, for burst resistance, the lowest value was found in the paper coated with fluorine and zein, with a difference of 14.2% between the maximum and minimum burst resistance. In terms of ring crush test, the highest resistance was related to the paper coated with zein, fluorine, and nano-graphene, with a difference of 16.1% between the maximum and minimum ring crush test.

Conclusion: The goal of food packaging is to extend shelf life and protect against spoilage factors. Paper and cardboard, as packaging materials, have specific advantages and disadvantages, including a lack of resistance to moisture. This research addresses the improvement of the physical and mechanical properties of kraft liner paper for fruit packaging and has demonstrated that coating increases thickness swelling and reduces water absorption. These coatings enhance the prevention of water absorption by penetrating the pores of the paper. Various factors affect water permeability, including the paper structure and the type of coating. The use of nano-graphene and zein leads to a reduction in paper porosity and an improvement in its mechanical properties. In this study, coating the paper with nano-graphene and zein significantly increased barrier properties and improved paper quality. Additionally, the results indicate that these compounds can help reduce water absorption and porosity of the paper.

Keywords: Brown liner, coating, mineral, nanographene, paper properties.

تأثیر پوشش مجزا و ترکیبی نانوگرافن-فلورین-زئین بر خواص ممانعتی و مکانیکی کرافت لاینر قهوه‌ای بسته‌بندی میوه

جعفر ابراهیم پور کاسمانی^{۱*} و احمد ثمریها^۲

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

پست الکترونیک: jafar_kasmani@yahoo.com

۲- استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: مقوای بسته‌بندی میوه از میوه در برابر ضربه، فشار و خرابی هنگام حمل‌ونقل محافظت کرده و باعث حفظ تازگی و کیفیت میوه می‌گردد. برای اینکه این هدف‌ها تأمین گردد باید استحکام مقوا را افزایش داده و ارتباط داخل و خارج مقوا را به حداقل رساند. درعین‌حال، زیست‌تخریب‌پذیر بوده و مقاوم و سازگار با محیط‌زیست است. کاغذ کرافت به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای حفظ کیفیت میوه‌ها شناخته می‌شود. بنابراین در این تحقیق به دنبال بهبود خواص ممانعتی و مکانیکی مقوا با پوشش‌دهی به‌وسیله نانوگرافن، فلورین و زئین به‌صورت مجزا و ترکیبی هستیم تا مقوای با کیفیت‌تر در دسترس مصرف‌کنندگان قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: کاغذ لاینر قهوه‌ای با جرم پایه آن ۱۲۰ گرم از شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. نانوگرافن نوع AO-4 از شرکت گرافن سوپرمارکت آمریکا، پروتئین زئین از شرکت سیگما آلدریج و فلورین نیز از گروه تولیدی معدن کاوان تأمین شد. به‌منظور پوشش‌دهی، نانوگرافن، زئین و فلورین با درصدهای وزنی مشخص و با توجه به شرایط تیمار، به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با ۱۰۰ گرم آب مقطر مخلوط شدند. سپس ۲/۵ گرم لانتکس استایرن بوتادین و ۰/۵ گرم پراکنده‌ساز D200 به مخلوط افزوده و به‌مدت ۲۰ دقیقه با دور ۱۵۰۰ همگن گردید. محلول نشاسته کاتیونی (۵ درصد) نیز به‌عنوان یک کمک نگهدارنده برای افزایش پوشش استفاده شد. محلول‌های پوششی با استفاده از (Auto Bar Coater (GBC - A4 GIST Co., Ltd) روی ورق‌های کاغذ اعمال شد. خواص فیزیکی و مکانیکی مطابق با استانداردهای TAPPI و ISO اندازه‌گیری شد. طرح آزمایشی از نوع کاملاً تصادفی بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس یک‌طرفه و آزمون دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج: آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین ضخامت، جذب آب و تخلخل ۸ نوع کاغذ در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشترین ضخامت مربوط به کاغذ لاینر قهوه‌ای پوشش‌داده‌شده با گرافن و فلورین و کمترین آن به نمونه شاهد تعلق دارد، اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان ضخامت، ۲۷ درصد است. کمترین جذب آب در کاغذ لاینر قهوه‌ای پوشش‌داده‌شده با زئین، فلورین و نانوگرافن مشاهده شد. اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان جذب آب ۶۴۷/۵ درصد است. همچنین، کمترین تخلخل به کاغذ پوشش‌داده‌شده با نانوگرافن اختصاص دارد. اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان تخلخل ۷۳۶۵/۸ درصد است. بررسی دانسیته نشان می‌دهد که بالاترین دانسیته در نمونه‌ای که با زئین و نانوگرافن پوشش داده شده، مشاهده می‌شود. اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان دانسیته ۱۴/۵ درصد است. همچنین، بیشترین صافی سطح در کاغذ پوشش‌دار با نانوگرافن و زئین ثبت شده است. اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان صافی، سطح ۲۳/۹ درصد است. برای شاخص مقاومت در برابر کشش و پاره شدن، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده نشد. اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان شاخص مقاومت در برابر کشش و پاره شدن به ترتیب ۱۵/۵ و ۲۶/۴ درصد است. اما برای مقاومت در برابر ترک‌یدن، کمترین میزان به کاغذ پوشش‌داده‌شده با فلورین و زئین تعلق دارد. اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان مقاومت در برابر ترک‌یدن ۱۴/۲ درصد است. در زمینه مقاومت به لهیدگی حلقوی نیز بیشترین مقاومت مربوط به کاغذ پوشش‌داده‌شده با زئین، فلورین و نانوگرافن می‌باشد. اختلاف بین بیشترین و کمترین میزان مقاومت به لهیدگی حلقوی ۱۶/۱ درصد است.

نتیجه‌گیری: هدف از بسته‌بندی مواد غذایی، افزایش طول عمر نگهداری و حفاظت از آنها در برابر عوامل فساد است. کاغذ و مقوا به‌عنوان مواد بسته‌بندی دارای مزایا و معایب خاصی هستند، ازجمله عدم مقاومت در برابر رطوبت. این تحقیق به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ کرافت لایتر بسته‌بندی میوه پرداخته و نشان داده است که پوشش‌دهی باعث افزایش ضخامت و کاهش جذب آب می‌شود. این پوشش‌ها با نفوذ به منافذ کاغذ، ممانعت از جذب آب را بهبود می‌بخشند. عوامل مختلفی بر نفوذپذیری نسبت به آب تأثیر دارد، ازجمله ساختار کاغذ و نوع پوشش. استفاده از نانوگرافن و زئین موجب کاهش تخلخل کاغذ و بهبود ویژگی‌های مکانیکی آن می‌شود. در این تحقیق، پوشش‌دهی کاغذ با نانوگرافن و زئین به‌طور قابل‌توجهی خواص مانع‌تی را افزایش داده و کیفیت کاغذ را بهبود می‌بخشد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که این ترکیبات می‌توانند به کاهش جذب آب و تخلخل کاغذ کمک کنند.

واژه‌های کلیدی: لایتر قهوه‌ای، پوشش، معدنی، نانوگرافن، خواص کاغذ

مقدمه

برای جابه‌جایی و فروش میوه از بسته‌بندی مقوایی استفاده می‌شود. برای میوه‌ها از بسته‌بندی‌های مقاوم استفاده می‌شود که میوه‌ها را محافظت کند و برای مشتری جذاب باشد. جنس این جعبه‌ها می‌تواند از انواع کرافت، سی فلوت، بی فلوت، ای فلوت و پنج لایه بسیار محکم باشد. یکی از دغدغه‌های بزرگ برای باغداران و صادرکنندگان میوه، تأمین کارتن بسته‌بندی میوه صادراتی و به‌طورکلی تأمین کارتن انواع میوه است. همچنین برای تولیدکنندگان و صادرکنندگان میوه، کیفیت و دوام کارتن میوه از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین کارتن بسته‌بندی میوه باید کیفیت و دوام مناسبی داشته باشد. امروزه برای کمک به محیط‌زیست و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست، استفاده از سبدهای پلاستیکی برای حمل و توزیع محصولاتی مانند میوه و سبزی‌ها ممنوع شده است. بنابراین برای حفاظت از محیط‌زیست و برای حمل، توزیع آسان و صادرات میوه و محصولات دیگر، از کارتن‌های میوه استفاده می‌شود. اخیراً توجه به مطالعات در مورد استفاده از پوشش‌دهنده‌های محافظ روی مقوا برای استفاده در بسته‌بندی محصولات غذایی و میوه‌ها افزایش چشمگیری داشته است. این راه‌حل‌ها باعث حفظ کیفیت و تازگی مواد غذایی در طول زمان تولید تا استفاده می‌شوند. به‌طور ایدئال، این لایه می‌تواند به‌عنوان یک مانع در برابر حلال‌های ارگانیک (افزایش قابلیت آب‌گریزی) یا کاهش میزان تبخیر آب مواد غذایی و نفوذپذیری اکسیژن کاغذ و مقوا نیز استفاده شود. بعلاوه پوشش با خاصیت پخش‌کنندگی در نوع بسته‌بندی‌های

پوشش‌دهنده ورق، می‌تواند منجر به افزایش بازدهی و سرعت تولید محصول شود. بنابراین استفاده از بیوپلیمرها به‌عنوان پوشش با خاصیت پخش‌کنندگی به‌ویژه (نانوسلولز یا میکروفیبرها) که در محیط‌زیست تجزیه‌پذیر و قابل بازیافت هستند در حال افزایش است.

[Han و Krochta \(۲۰۰۱\)](#) نشان دادند که پوشش پروتئین آب‌پنیر ایزوله (WPI) سطح صاف‌تری ایجاد کرده و با افزایش وزن پوشش، فشار پارگی و مدول کاهش می‌یابد، در حالی که حداکثر فشار شکست به وزن پوشش وابسته نیست. همچنین، این پوشش زاویه تماس روغن را کاهش داده و کارایی بسته‌بندی را افزایش می‌دهد. [Pol](#) و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که فیلم‌های پروتئین سویا با روکش‌های دو لایه از زئین ذرت استحکام کششی بیشتری دارند و از ۱/۷ به ۶/۲ مگاپاسکال افزایش می‌یابد. [Larotonda](#) و همکاران (۲۰۰۳) تأثیر آغشته‌سازی کرافت لایتر با استات نشاسته را بررسی کردند و دریافتند که این عمل جذب آب و نفوذپذیری بخار آب را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد. پوشش‌دهی با پلیمرهای زیستی مانند آلزینات و پروتئین سویا ضخامت کاغذ مقوا را افزایش داده و استحکام کششی را بهبود می‌بخشد، در حالی که نفوذپذیری و جذب آب تحت تأثیر قرار می‌گیرد ([Rhim et al., 2006](#)). [Tihminlioglu](#) و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که پوشش زئین به‌طور معنی‌داری ممانعت بخار آب و اکسیژن فیلم‌های پلی‌پروپیلن را بهبود می‌بخشد. [Zvonkina](#) و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که با افزایش درصد پرکننده‌ها، مقدار انتقال بخار آب کاهش می‌یابد و آلومینیوم مؤثرتر از

تره‌بار و مغازه‌های میوه‌فروشی عرضه شوند. برای حفظ کیفیت و تازگی میوه‌ها از کاغذ کرافت استفاده می‌شود. این نوع مقوا، برای اینکه از میوه‌ها محافظت کند باید مقاومت‌های بالا و جذب آب کمتر داشته باشد. درعین حال بتواند رطوبت میوه‌ها را جذب کند. در کنار تمام این خصوصیات، باید سازگار با محیط‌زیست بوده و امکان بازیافت آن آسان باشد. یکی از مقواهایی که می‌تواند برای این کار مورد استفاده قرار گیرد، کرافت لاینر کارخانه چوب و کاغذ مازندران است. اما متأسفانه خصوصیات معرفی شده، در حد بالایی در این کاغذ نبوده و نیازمند تقویت برای تأمین نظر مشتریان هستند. بنابراین در این تحقیق، هدف آن است از نانو مواد، مواد معدنی و پروتئینی برای پوشش‌دهی مقوا استفاده گردد تا بتوان با تولید مقوای مقاوم‌تر و با کیفیت‌تر، میوه و صیفی‌جات را با کیفیت بالا به دست مصرف‌کننده رساند.

مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ

کاغذ لاینر قهوه‌ای مورد استفاده از شرکت چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. جرم پایه این کاغذ 120 ± 3 گرم بر مترمربع بود.

نانوگرافن

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.

جدول ۱- مشخصات نانو گرافن

Table 1- Characteristics of Nanographene

Specific Surface Area (m ² /g)	Color	Purity (%)	Average Thickness (nm)	Particle Diameter (nm)	Surface Area (m ² /g)
More than 15	Black	99.5	60	3-18	300

جدول ۲- مشخصات پروتئین ژئین

Table 1- Characteristics of Fluorine

Yellow	Appearance Status
55	Crude Protein Percentage (%)
10	Crude Fiber Percentage (%)
3	Ash Percentage (%)
Negative	Urea Content (mg/kg)

سایر پرکننده‌هاست. [Jutila](#) و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر رنگ‌دانه‌ها و اتصال‌دهنده‌ها را بررسی کردند و نشان دادند که کرنات کلسیم اصلاح‌شده پراکندگی مخلوط را بهبود می‌بخشد. [Tambe](#) و همکاران (۲۰۱۶) پوشش مقاوم به رطوبت از روغن سویا تهیه کرده و نشان دادند که این پوشش موجب کاهش جذب آب و افزایش زاویه تماس قطره آب می‌شود. [Pracella](#) و همکاران (۲۰۱۶) بسپار زیستی بر پایه پلی لاکتیک اسید تهیه کردند و تأثیر هم‌افزایی را بر بهبود خواص مکانیکی تأیید کردند. [Hubbe](#) و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تأثیر پیگمان‌های نانورس بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ حاصل از خمیر OCC پرداختند. نتایج نشان داد که با مصرف نانورس، به دلیل خاصیت تشکیل پیوند خوب نرمه‌ها، مقاومت به کشش، ترکیدن، مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای و مقاومت به لهیدگی حلقوی افزایش می‌یابد. اما با افزایش سطح بیشتر نانورس، به دلیل ایجاد بار منفی بیش‌ازحد، پراکندگی فلاک‌ها افزایش یافته و تشکیل فلاک‌های درشت، سبب افت مقاومت‌ها می‌شود.

برای مقوای بسته‌بندی میوه باید از مقوایی استفاده کرد که تأمین‌کننده ویژگی‌های خاصی باشد. میوه و صیفی‌جات از باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی برداشت می‌شود، تقریباً یک تا سه هفته بعد به دست مصرف‌کننده می‌رسد. در طول این مدت، باید کیفیت و تازگی میوه‌ها در مقابل عواملی مانند تغییرات شرایط آب و هوایی و در زمان حمل‌ونقل، به‌خوبی حفظ شود و محصولات به‌صورت تازه و سالم در میدان‌های میوه و

پروتئین ژئین

پروتئین ژئین (پروتئین ذرت) از شرکت سیگما آلدریج تهیه شد. مشخصات آن در جدول ۲ ارائه شده است.

فلورین

فلورین در جدول ۳ نشان داده شده است.

فلورین از گروه تولیدی معدن کاوان تهیه شد. مشخصات

جدول ۳- مشخصات فلورین

Table 1- Characteristics of Zein

CaF ₂	SO ₃	Ca	Fe ₂ O ₃	P	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Mg	TiO ₂	LOI
96.17	0.1	51	0.1	<0.01	0.65	0.1	0.1	0.2	>0.01	0.5

اندود کاغذ پایه

برای پوشش دهی، ابتدا نانو گرافن، زئین و فلورین با درصدهای وزنی مشخص به طور جداگانه توزین شدند. با توجه به شرایط تیمار، هریک 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 شد و بعد با افزودن ۲/۵ گرم لاتکس استایرن بوتادی ان و ۰/۵ گرم پراکنده ساز D200 شرکت سیماب رزین، به مدت ۲۰ دقیقه دوباره در داخل دستگاه مخلوط کن 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 یکنواخت تری از مواد پوششی بر روی سطح کاغذ استفاده شد. محلول نشاسته با حل کردن ۵ گرم نشاسته در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر تهیه شد که منجر به غلظت ۵ درصد شد. سپس مخلوط به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد پخته شد. سپس در یک حمام آب با دمای ثابت در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد نگهداری گردید و برای پوشش سطح استفاده شد.

محلول های پوششی با استفاده از Auto Bar Coater (GBC - A4 GIST Co., Ltd) روی ورق های کاغذ اعمال شد. حجم ۲۷ میلی لیتر از محلول پوشش از یکسو بر روی کاغذ ریخته شد و یک میله اپلیکاتور بلافاصله در طول صفحات کاغذ جارو شد. سرعت پوشش روی ۲۵ میلی متر بر ثانیه تنظیم شد. ورق های کاغذ پوشش داده شده در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت در هوا خشک شدند. کدها و

اندازه گیری خواص کاغذ

برای تعیین ویژگی های فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذها از حداقل ۱۰ تکرار برای هر نمونه مطابق با دستورالعمل های استاندارد های زیر استفاده شد.

خواص فیزیکی شامل ضخامت (T411-Om89)، دانسیته (T411-Om97)، جذب آب (T441 om-96)، تخلخل (T460-Om02)، صافی سطح (T479 cm-21)، خواص مکانیکی شامل سفتی (ISO 2493-2)، شاخص مقاومت در برابر کشش (T404-Om92)، شاخص ترکیدن (403 om-02)، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن (T404om-04)، مقاومت به لهیدگی حلقوی (T818-cm-97) و مقاومت لهیدگی کنگره ای (ISO 12192) اندازه گیری شد.

محاسبات آماری

طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق، از نوع کاملاً 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 گردید.

جدول ۴- ترکیب کدها و شرایط تیمارها

Table 4- The composition of the examined treatments as well as the consumption amounts of nano silica, starch and cationic polyacrylamide

Treatment number	Treatment code	Descriptions
1	CBL	Control Brown Liner
2	BLG	Brown Liner Coated with Nanographene
3	BLZ	Brown Liner Coated with Zein
4	BLF	Brown Liner Coated with Fluorine
5	BLZG	Brown Liner Coated with Nanographene and Zein
6	BLFG	Brown Liner Coated with Nanographene and Fluorine
7	BLFZ	Brown Liner Coated with Fluorine and Zein
8	BLZFG	Brown Liner Coated with Nanographene, Zein, and Fluorine

نتایج

از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد. مقدار F به دست آمده از این آزمون و سطح معنی داری در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۵ میانگین تغییرات خواص فیزیکی و مکانیکی برای ۸ ترکیب کاغذ مختلف را نشان می دهد، همچنین برای بررسی اختلاف آماری بین میانگین خواص مورد بررسی،

جدول ۵- مقایسه میانگین و گروه بندی آن بر خواص فیزیکی و مکانیکی

Table 5 - Comparison of means and grouping based on physical and mechanical properties.

Feature	CBL	BLG	BLZ	BLF	BLZG	BLFG	BLFZ	BLZFG
Thickness (μm)	165.67	165	167	194.33	163.67	209.67	200.67	189.33
Density (g/cm^3)	0.69	0.77	0.78	0.7	0.79	0.69	0.72	0.74
Water Absorption (g/m^2)	30.5	5.99	5.03	6.01	18.03	4.98	4.99	4.08
Porosity (ml/min)	5353	71.7	1185.3	4050	3150	1205.6	4267	3640
Surface Smoothness (ml/min)	8.33	8.67	8.57	7.33	9.7	7.97	7.9	7.83
Stiffness (kN/m)	951.2	986.8	934.23	958.2	937.5	898.3	934.9	884.9
Burst Strength Index (kPam^2/g)	2.48	2.47	4.42	2.5	2.31	2.31	2.19	2.32
Tear Strength Index (mNm^2/g)	72	79.67	77.33	75.52	77.33	82.67	91	82.67
Tensile Strength Index (Nm/g)	66.02	59.16	66.09	64.22	66.89	62.72	63.89	68.33
Ring Crush Test (kN/m)	275.63	283.37	284.33	260.37	291.69	281.41	261.37	302.28
Corrugating medium test (N)	301.4	277.5	279.4	282.6	292.73	310.57	282.47	294.2

لاینر قهوه ای پوشش داده شده با گرافن و فلورین است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد است. آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر ضخامت ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود ندارد. شکل (۱ ب) میانگین تغییرات دانسیته را برای ۸ نوع کاغذ نشان می دهد.

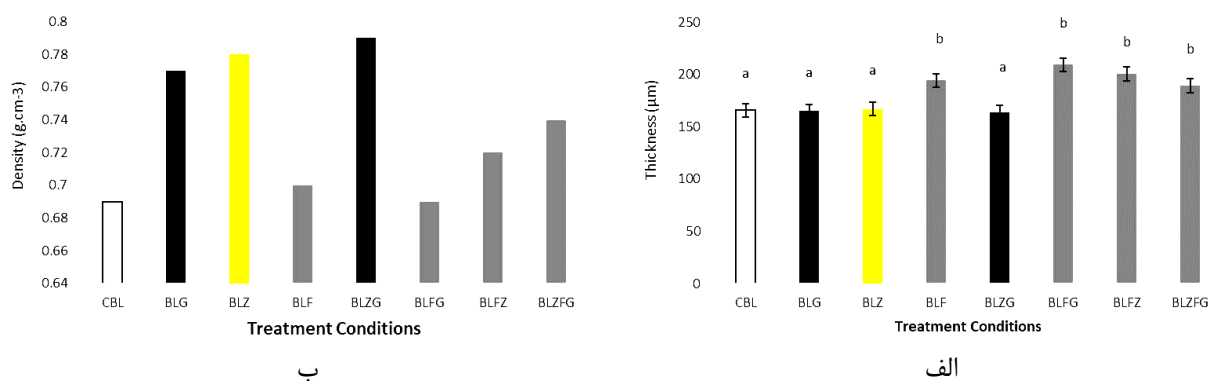
آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر ضخامت ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود دارد و مقادیر ضخامت در کلیه تیمارها در دو گروه قرار داشته است. شکل (۱ الف) میانگین تغییرات ضخامت را برای ۸ نوع کاغذ نشان می دهد. شکل (۱ الف) نشان می دهد که بیشترین میزان ضخامت مربوط به کاغذ

جدول ۶- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی داری) اثر متغیرهای ساخت بر مقاومت‌ها

Table 6 - Analysis of Variance (F value and significance level) of the effect of structural variables on the Strength

Feature	Variables
Thickness (μm)	8.417*
Density (g/cm^3)	2.628 ns
Water Absorption (g/m^2)	5978.78*
Porosity (ml/min)	46627.636*
Surface Smoothness (ml/min)	36.189*
Stiffness (kN/m)	19.537*
Burst Strength Index (kPam^2/g)	3.632*
Tear Strength Index (mNm^2/g)	1.165ns
Tensile Strength Index (Nm/g)	1.584 ns
Ring Crush Test (kN/m)	640.292*
Corrugating medium test (N)	4.915*

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



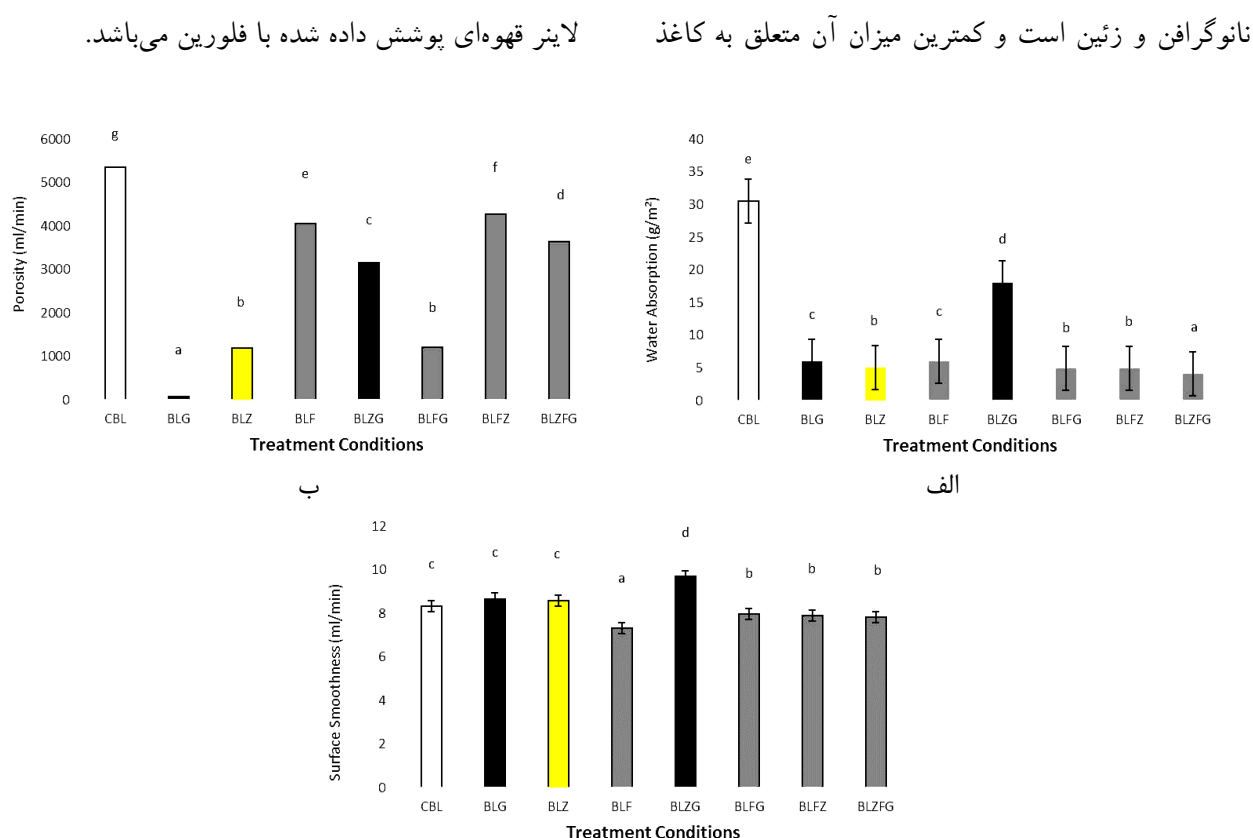
شکل ۱- مقایسه میانگین (الف) ضخامت، (ب) دانسیته کاغذهای مختلف
Figure 1. Comparison of means: (a) Thickness, (b) Density of different papers

کلیه تیمارها در سه گروه قرار داشته است. شکل (۲ ب) میانگین تغییرات تخلخل را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۲ ب) نشان می‌دهد که کمترین میزان تخلخل مربوط به کاغذ لایتر قهوه‌ای پوشش داده شده با نانوگرافن است و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد است.

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر صافی سطح ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود دارد و مقادیر صافی سطح در کلیه تیمارها در سه گروه قرار داشته است. شکل (۲ ج) میانگین تغییرات صافی سطح را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۲ ج) نشان می‌دهد که بیشترین میزان صافی سطح مربوط به کاغذ لایتر قهوه‌ای پوشش داده شده با

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر جذب آب ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود دارد و مقادیر جذب آب در کلیه تیمارها در پنج گروه قرار داشته است. شکل (۲ الف) میانگین تغییرات جذب آب را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۲ الف) نشان می‌دهد که کمترین میزان جذب آب مربوط به کاغذ لایتر قهوه‌ای پوشش داده شده با زئین، فلورین و نانوگرافن است و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه‌های شاهد است.

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر تخلخل ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود دارد و مقادیر صافی سطح در



شکل ۲- مقایسه میانگین (الف) جذب آب، (ب) تخلخل، (ج) صافی سطح کاغذهای مختلف

Figure 2. Comparison of means: (a) Water absorption, (b) Porosity, (c) Surface smoothness of different papers

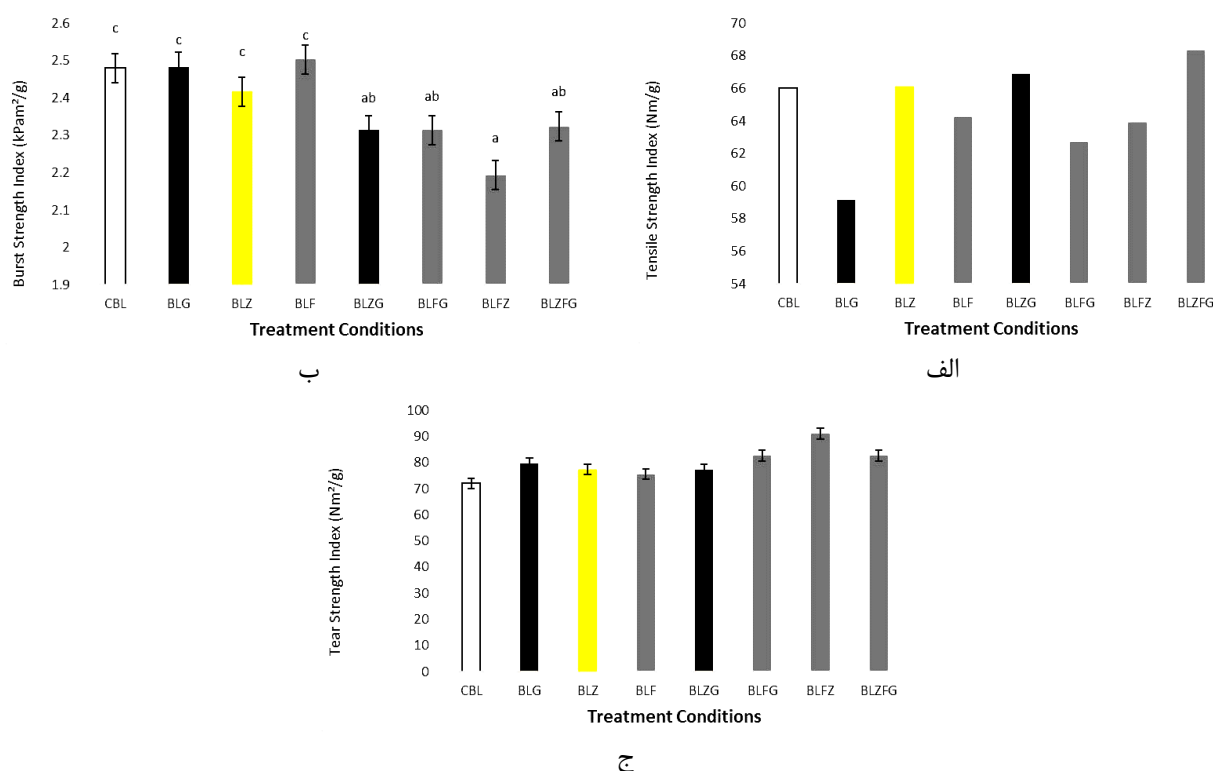
می‌دهد.

شکل (۳ ب) نشان می‌دهد که کمترین میزان شاخص مقاومت در برابر ترک‌کشدن مربوط به کاغذ لایتر قهوه‌ای پوشش داده شده با فلورین و ژئین است و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه کاغذ لایتر قهوه‌ای پوشش داده شده با فلورین می‌باشد.

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. شکل (۳ ج) میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. شکل (۳ الف) میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد.

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت در برابر ترک‌کشدن ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر شاخص مقاومت در برابر ترک‌کشدن در کلیه تیمارها در دو گروه قرار داشته است. شکل (۳ ب) میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر ترک‌کشدن را برای ۸ نوع کاغذ نشان



شکل ۳- مقایسه میانگین (الف) شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین، (ب) شاخص مقاومت در برابر ترکیدن، (ج) شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای مختلف

Figure 3. Comparison of means: (a) Tensile strength index in the machine direction, (b) Burst strength index, (c) Tear strength index of different papers

۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود دارد و مقادیر مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای در کلیه تیمارها در سه گروه قرار داشته است. شکل (۴ ب) میانگین تغییرات مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۴ ب) نشان می‌دهد که بیشترین میزان مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای، مربوط به کاغذ لاینر قهوه‌ای پوشش داده شده با فلورین و نانوگرافن است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های کاغذ لاینر قهوه‌ای پوشش داده شده با نانوگرافن می‌باشد.

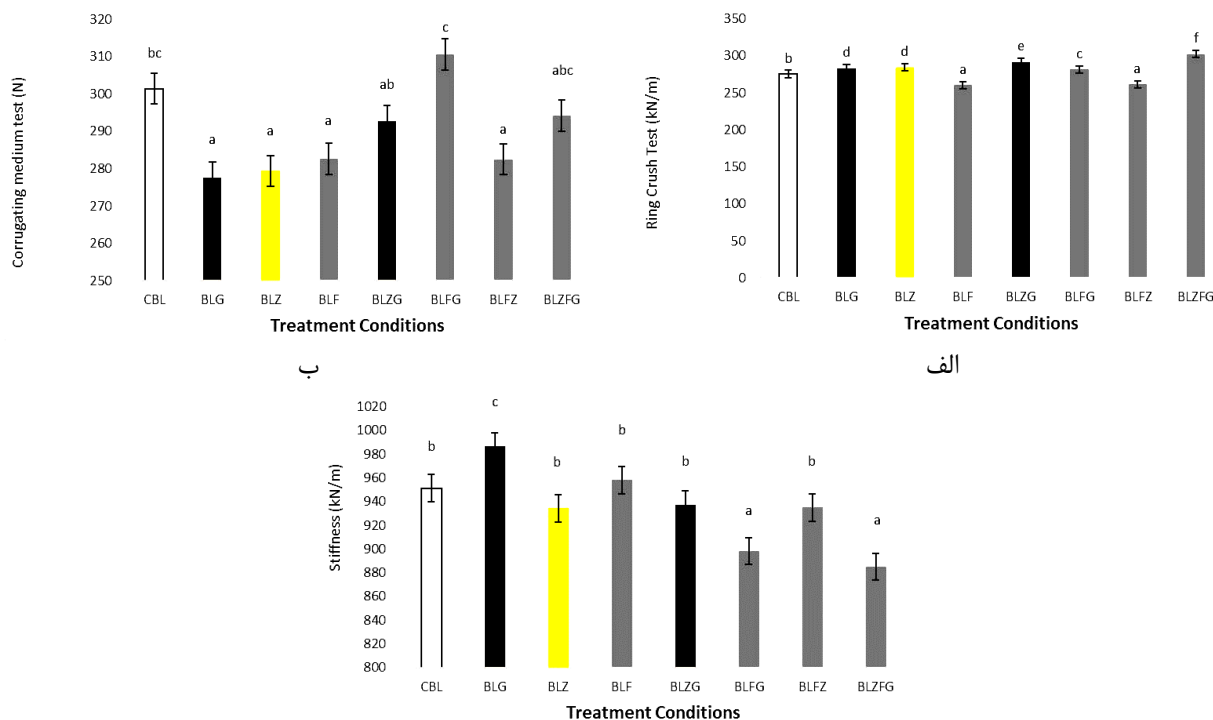
آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر سفتی ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود دارد و مقادیر صافی سطح در کلیه تیمارها در سه گروه قرار داشته است. شکل (۴ ج) میانگین تغییرات سفتی را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۴ ج) نشان می‌دهد که بیشترین میزان سفتی مربوط به کاغذ لاینر

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر مقاومت به لهیدگی حلقوی در جهت ماشین ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵ درصد از نظر آماری اختلاف معنی دار وجود دارد و مقادیر مقاومت به لهیدگی حلقوی در جهت ماشین در کلیه تیمارها در سه گروه قرار داشته است. شکل (۴ الف) میانگین تغییرات مقاومت به لهیدگی حلقوی در جهت ماشین را برای ۸ نوع کاغذ نشان می‌دهد. شکل (۴ الف) نشان می‌دهد که بیشترین میزان مقاومت به لهیدگی حلقوی در جهت ماشین مربوط به کاغذ لاینر قهوه‌ای پوشش داده شده با ژئین، فلورین و نانوگرافن است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های کاغذ لاینر قهوه‌ای پوشش داده شده با فلورین می‌باشد.

آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین مقادیر مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای، ۸ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال

نانوگرافن، فلورین و ژئین می‌باشد.

قهوه‌ای پوشش داده شده با نانوگرافن است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه کاغذ لایتر قهوه‌ای پوشش داده شده با



شکل ۴- مقایسه میانگین (الف) مقاومت به لهیدگی حلقوی در جهت ماشین، (ب) مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای، (ج) سفتی کاغذهای مختلف

Figure 4. Comparison of means: (a) Ring crush test in the machine direction, (b) Corrugating medium test, (c) Stiffness of different papers

بحث

سلولزی کاغذی منجر به افزایش ضخامت شد. این رسوب موجب شکل‌گیری یک لایه پوشش می‌شود که ضخامت این لایه پوشش شکل گرفته تحت تأثیر طبیعت پلیمر و مقدار مواد جامد محلول پوشش است (Guillaumem et al., 2010). ازجمله ویژگی‌های کاغذهای بسته‌بندی مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی و برخی مصارف دیگر، ویژگی ممانعتی در برابر مایعات گوناگون مانند آب است. جذب آب، مقاومت به آب کاغذهای پوشش داده شده را که در تماس مستقیم با آب هستند نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری انجام شده در این تحقیق نشان می‌دهد که پوشش دهی، جذب آب کاغذها را در تمام تیمارها، به میزان زیادی کاهش داده است. علت

هدف از بسته‌بندی کردن مواد غذایی این است که طول عمر نگهداری آن افزایش یابد و مواد غذایی به‌طور کامل از خطر عوامل فساد درونی و بیرونی و اکسایشی حفظ شود. همچنین حمل‌ونقل مواد بهتر و آسان‌تر انجام گردد. کاغذ و مقوا نیز همانند دیگر مواد اولیه مورد استفاده در بسته‌بندی دارای مزایا و معایبی است. از معایب آنها می‌توان به عدم مقاومت نسبت به نفوذ رطوبت اشاره کرد که امروزه با استفاده از پوشش‌هایی قابل اصلاح است. این تحقیق نیز با هدف بهبود ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و ممانعتی کاغذ کرافت لایتر بسته‌بندی میوه انجام شد. رسوب محلول پوشش روی بستر

تخلخل می‌گردد، به دلیل استفاده از نانوگرافن، امکان تشکیل پیوند هیدروژنی بین ترکیب‌های پوشش‌دهی و نانوگرافن با گروه‌های هیدروکسیل سطح و درون الیاف افزایش می‌یابد که نتیجه آن کاهش تخلخل است (Ibrahim et al., 2021).

استفاده از مواد پوششی در سطح کاغذ موجب کاهش در میزان صافی سطح کاغذها شده است که البته این تغییرات شدید نبوده و با اتوزنی رفع خواهد شد (Ebrahimpour Kasmani et al., 2014). میزان صافی سطح در تیمارهایی که از فلورین استفاده شده، با کاهش همراه بوده است. این موضوع می‌تواند ناشی از پراکنش غیریکنواخت آنها در سطح باشد. مواد پوشش‌دهی در حفره‌های کوچک ورقه کاغذ قرار می‌گیرند، اما به دلیل اینکه نحوه انجام پوشش‌دهی در تمام تیمارها یکسان نبوده است، باعث شده که مقادیر صافی سطح در تیمارهای مختلف متفاوت باشد (Ihalainen et al., 2012).

تغییرات قابل ملاحظه‌ای در میزان شاخص مقاومت به کشش، پاره شدن و مقاومت به لهیدگی حلقوی مشاهده نشده است. اما شاخص مقاومت به ترکیدن و مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای کاهش یافته است. شاخص مقاومت به ترکیدن و مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای در مقوای بدون پوشش به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مقوای پوشش‌دهی شده است. این موضوع می‌تواند به چندین عامل مرتبط باشد. مقوای بدون پوشش معمولاً دارای ساختار الیاف متراکم‌تری هستند که به آنها استحکام بیشتری می‌بخشد. در این نوع مقوا، الیاف به‌طور یکنواخت‌تری توزیع شده‌اند که این ویژگی به بهبود خواص مکانیکی آنها کمک می‌کند. از سوی دیگر، پوشش‌دهی ممکن است به توزیع غیریکنواخت مواد منجر شود و باعث کاهش چسبندگی بین الیاف گردد که این موضوع می‌تواند منجر به تضعیف خواص مکانیکی مقوا گردد (Jin et al., 2021). همچنین مقوای پوشش‌دهی شده ممکن است در اثر فرایند پوشش‌دهی، برخی از خواص مکانیکی خود را از دست بدهند (Kunam et al., 2024).

این نتایج نشان می‌دهد که انعطاف‌پذیری مقوای پوشش‌دهی شده بیشتر از مقوای بدون پوشش است. کاهش

این موضوع این است که سرعت عبور آب در منافذ کاغذ به دلیل اینکه محلول پوشش به‌کار رفته در منافذ کاغذ نفوذ کرده، کاهش یافته است. در یک شبکه کاغذی مولکول‌های آب تنها از طریق الیاف جذب نمی‌شوند، بلکه حفره‌های بین الیاف هم در جذب آب تأثیر دارند. مواد پوشش‌دهی سبب چسبندگی آنها به سطح کاغذ شده و علاوه بر پر کردن بخش‌های نازک و منافذ کاغذ، موجب تشکیل یک لایه سطحی بر روی کاغذ می‌شود. به دلیل کاهش منافذ و حفره‌ها، ممانعت به جذب آب بهبود می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده با مشاهدات Aloui و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت داشت.

نفوذپذیری نسبت به آب در کاغذ، مقوا و فیلم‌های پوششی تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند نسبت نواحی کریستالی به نواحی آمورف، میزان تحرک زنجیره‌های پوششی و میزان برهم‌کنش بین مولکول‌های آب در نواحی آمورف قرار دارد. فیلم‌های زیست پوششی به دلیل وجود تراکم و فشردگی بالا بین زنجیره‌ها، وجود مقدار زیاد پیوندهای هیدروژنی و حالت نیمه کریستالی، بازدارندگی خوبی در مقابل آب دارند. به همین دلیل، استفاده از آنها در بسته‌بندی میوه‌ها و سبزی‌ها با کاهش سرعت تبادل اکسیژن با محیط، افزایش ماندگاری محصول را میسر می‌سازد. کنترل نفوذپذیری به آب بر کیفیت محصول نهایی مؤثر است. زمانی که هدف بسته‌بندی مواد غذایی است، انتقال رطوبت بین مواد غذایی و محیط خارج بسته‌بندی باید به حداقل رسانده شود. خاصیت نفوذپذیری پلیمرها ارتباط مستقیمی با خاصیت آبدوست یا آبگریز بودن ترکیبات تشکیل‌دهنده آنها، فرایند و نحوه تولید پوشش، نوع و مقدار افزودنی‌ها به پوشش، وجود منافذ و ترک‌خوردگی و در نهایت ساختار پوشش دارد.

استفاده از نانوگرافن و ژئین و استفاده همزمان نانوگرافن و فلورین، باعث کاهش تخلخل کاغذ گردید. با افزودن این مواد، از یکسو پیوندپذیری بین ذرات نانوگرافن و از سوی دیگر پیوند این ذرات با گروه‌های واکنش‌پذیر سطح و درون الیاف، مقاومت‌ها را افزایش داده و تخلخل کاهش یافته است (Molaei et al., 2015). علاوه بر درگیری مکانیکی بین پلیمرها با الیاف سلولزی که باعث افزایش مقاومت‌ها و کاهش

نتیجه گیری

این تحقیق به بررسی تأثیر نانوگرافن، فلورین و زئین بر خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذ لایر قهوه‌ای پرداخته است. نتایج نشان می‌دهند که پوشش‌های زئین و نانوگرافن به افزایش ضخامت و دانسیته کاغذ کمک می‌کنند. همچنین، کاهش جذب آب و تخلخل در نمونه‌های پوشش‌دار مشاهده شد که از یافته‌های مهم این تحقیق بوده است و به بهبود عملکرد کاغذ در محیط‌های مرطوب منجر می‌شود. صافی سطح کاغذ نیز با استفاده از نانوگرافن و زئین بهبود یافته است. مقاومت کششی و مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ نیز تحت تأثیر پوشش‌ها قرار گرفت. این مواد همچنین به عنوان پوشش‌های زیستی و تجدیدپذیر، جایگزین مناسبی برای مواد پلاستیکی محسوب می‌شوند و می‌توانند کیفیت بسته‌بندی میوه را بهبود ببخشند.

استفاده از پلیمرهای زیستی، معدنی و تجدیدپذیر به عنوان مواد پوشش‌دهی برای کاغذ، دارای مزیت‌های فراوانی است. این مواد به دلیل قابلیت بازیافت و تجزیه‌پذیری، جایگزین مناسبی برای مواد پلاستیکی هستند. در این تحقیق از پوشش مجزا و ترکیبی نانوگرافن-فلورین-زئین استفاده شد. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که با پوشش‌دهی کاغذ، می‌توان خواص ممانعتی را به طور قابل توجهی افزایش داد. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش می‌توان گفت که این مواد پوششی قابلیت ایجاد پوشش در کاغذهای بسته‌بندی میوه با ویژگی‌های ممانعتی مناسب را دارد و از این طریق می‌توان با تولید مقوای با کیفیت‌تر، میوه و صیفی‌ها را با کیفیت بالا به دست مصرف‌کننده رساند.

این مقاومت‌ها ممکن است به دلیل نفوذ محلول پوشش در شبکه الیاف باشد که منجر به اختلال در اتصالات بین الیاف می‌شود (Han and Krochta, 2001). افزایش سهم زئین در فرمولاسیون پوشش موجب افزایش میزان نفوذ مواد پوشش به داخل شبکه الیاف و کاهش بیشتر مقاومت‌ها شد، به ویژه هنگامی که با گرافن و فلورین ترکیب شده بود.

همچنین کاهش مقاومت ممکن است به دلیل پایین بودن مقاومت پوشش نسبت به کاغذ پایه، نفوذ ماده پوشش به ساختار کاغذ پایه و اختلال در اتصال بین الیاف باشد که با نتایج Rhim و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

مقاومت کاغذهای پوشش‌دار نهایی تابع مقاومت کاغذ پایه، لایه پوشش کامپوزیتی و برهم‌کنش آنها در سطح مشترک است اما به دلیل توزیع نامناسب الیاف در ماتریس پوشش در هنگام تهیه پوشش و نامناسب بودن روش که موجب تمرکز تنش و افت مقاومت‌ها می‌شود، اغلب با روند افت مقاومت کلی کاغذهای پوشش‌دار مواجه می‌شویم. مواد پوششی پیوند هیدروژنی داخلی را کاهش و فاصله بین مولکولی را افزایش می‌دهند، در نتیجه باعث کاهش شکنندگی، افزایش انعطاف‌پذیری و نفوذ مواد پوششی می‌شوند. همچنین شکل و اندازه ذرات مواد پوشش‌دهی نقش مهمی روی خواص مکانیکی دارد. به طور کلی هرچه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد اثرهای منفی روی مقاومت بیشتر است.

ضخامت مقوا با مواد پوششی ارتقا می‌یابد و از آنجایی که سفتی خمشی متناسب با توان سوم ضخامت است (Tanpichai et al., 2022)، انتظار افزایش سفتی نیز متصور است. درعین حال، بهبود پیوندیابی شبکه لیفی کاغذ به دلیل نفوذ مواد پوششی درون ساختار کاغذ نیز قابل ذکر است.

References

- Aloui, H., Khwaldia, K., Slama, M.B. & Hamdi, M., 2011. Effect of glycerol and coating weight on functional properties of biopolymer-coated paper. *Carbohydrate polymers*, 86(2), 1063-1072. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.026>
- Ebrahimpour kasmani, J., Mahdavi, S. and Samariha,

- A., 2014. Improve Physical and Printability of Printed Paper with Low Coverage, *Science and Technology of Color. Journal of Forest and Wood Products*, 26(4), 265-275. <https://doi.org/10.15376/biores.8.3.3646-3656>
- 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.[38]
Aloui. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.04.014>
- Han, J.H. and Krochta J.M., 2001. Physical properties and Oil Absorption of Whey-Protein coated paper. *Journal of food science* 294-299. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb11335.x>
- Hubbe, M.A. "Security papers: Trust but verify," in: *Make Paper Products Stand Out. Strategic Use of Wet End Chemical Additives*. TAPPI Press, Atlanta, GA, Ch. (2020) 6, pp. 129-154.
- Ibrahim, A., Klopocinska, A., Horvat, K. & Abdel Hamid, Z., 2021. Graphene-Based Nanocomposites: Synthesis, Mechanical Properties, and Characterizations. *Polymers*, 13(17), 2869. <https://doi.org/10.3390/polym13172869>
- Ihalainen, P., Maattanen, A., Jarnstrom, J., Tobjork, D., Osterbacka, R. & Peltonen, J., 2012. Influence of surface properties of coated papers on printed electronics. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(17), 6025-6036. <https://doi.org/10.1021/ie202807v>
- Jin, K., Tang, Y., Liu, J., Wang, J. & Ye, C., 2021. Nanofibrillated cellulose as coating agent for food packaging paper. *International Journal of Biological Macromolecules*, 168, 331-338. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.066>
- Jutila, E., Koivunen, R., & Gane, P. A. 2015. Effect of coating pigment, binder type and binder amount on planar liquid wicking on coated substrates. *Journal of Print and Media Technology Research*, 4(3), 173-186. DOI: 10.14622/JPMTR-1419
- Koivunen, R. & Gane, P.A., 2015. Effect of coating pigment, binder type and binder amount on planar liquid wicking on coated substrates. *Journal of Print and Media Technology Research*, 4(3), 173-186.
- Kunam, P.K., Ramakanth, D., Akhila, K. & Gaikwad, K.K., 2024. Bio-based materials for barrier coatings on paper packaging. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(12), 12637-12652. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03241-2>
- Larotonda, F.D., Matsui, K.S., Paes, S.S. & Laurindo, J.B., 2003. Impregnation of Kraft Paper with Cassava-Starch Acetate—Analysis of the Tensile Strength, Water Absorption and Water Vapor Permeability. *Starch-Stärke*, 55(11), 504-510. <https://doi.org/10.1002/star.200300179>
- 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.
- Oleyaei, S.A., Ghanbarzadeh, B., Moayedi, A.A., Poursani, P., Mousavi Baygi, S.F. and BakhshAmin, M.R., 2017. Characterization of functional properties of starch based nanobiocomposite films containing montmorillonite and titanium dioxide. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(4): 611-626.
- Pracella, M., Haque, M.M.U., Paci, M. and Alvarez, V., 2016. Property tuning of poly (lactic acid)/cellulose bio-composites through blending with modified ethylene-vinyl acetate copolymer. *Carbohydrate polymers*, 137, 515-524. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.094>
- Pol, H., Dawson, P., Acton, J. and Ogale, A., 2002. Soy Protein Isolate/Corn Zein Laminated Films: Transport and Mechanical Properties. *Journal of food science*, 67(1): 212-217. <https://doi.org/10.1111/j.1365-26212002.tb11386.x>
- Rhim J.W., Lee J.H. and Hong S.I., 2006. Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards. *LWT-Food Science and Technology*, 39(7): 806-813. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.05.008>
- Tambe, C., Graiver, D. and Narayan, R., 2016. Moisture resistance coating of packaging paper from biobased silylated soybean oil. *Progress in Organic Coatings*, 101, 270-278. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.08.016>
- Tanpichai, S., Srimarut, Y., Woraprayote, W. & Malila, Y., 2022. Chitosan coating for the preparation of multilayer coated paper for food-contact packaging: Wettability, mechanical properties, and overall migration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 534-545. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.193>
- Tihminlioglu, F., Atik İ.D. and Özen, B., 2010. Water vapor and oxygen barrier performance of corn-zein coated polypropylene films. *Journal of Food Engineering*, 9(3): 342-347. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.018>
- Zvonkina, I.J., Gkountara, P., Hilt, M. and Franz, M., 2014. New printing inks with barrier performance for packaging applications: Design and investigation. *Progress in Organic Coatings*, 77(3), 646-656. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.12.001>