Karafan

Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University

Autumn 2023, Vol. 20, No. 3, p. 641-661

Journal homepage: https://karafan.tvu.ac.ir/?lang=en

TVU

doi:10.48301/KSSA.2023.382580.2425

Original Research

E-ISSN: 2538-4430
ISSN: 2382-9796

Investigating the Effect of Double-Layer Coating with Biodegradable Nanomaterials on the Properties of White Top Cartons Used at Sub-Zero Temperatures

Jafar Ebrahimpour Kasmani[1*], Ahmad Samariha[2]

[1]Associate Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran.

[2]Department of Wood Industry, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Received: 02.13.2023
Revised: 07.15.2023
Accepted: 10.11.2023

Keyword:
Coating
Layered
Nano Materials
Biodegradable
White Top
Zero Temperature

***Corresponding Author:**
Jafar Ebrahimpour Kasmani
Email:
jafar_kasmani@yahoo.com

ABSTRACT

This study was conducted with the aim of investigating the effect of layer coating of nano polyurethane and nanoclay on improving the properties of cold-storage white top kraft paper used in the packaging industry. For this purpose, white top kraft paper with a base weight of 131 $g.m^{-2}$ was prepared and tested. To cover the surface of the paper, nano-polyurethane was first applied by spraying with a nozzle in an amount of about 15 $g.m^{-2}$ on the surface of the white top paper. In the second stage, to improve the performance of the coating material of the first stage, the surfaces of cold-storage white top kraft paper were covered with nanoclay by a laboratory coating machine. In this step, the coating material was coated with the amount of 27 $g.m^{-2}$ on the upper surface of white kraft paper. After being coated and restrained, the samples were dried at room temperature for one day to stabilize the coating material on its surface. Then, the samples were placed inside the freezer for 2 and 4 months and their properties were measured. Before the tests, the control and coated samples were placed in standard environmental conditions (at a temperature of 20 ^{o}C and relative humidity 65%). The results showed that the coating (control) increased the thickness, smoothness of the surface, and the resistance against the ring crush of the paper in the direction of the machine and reduced the water absorption, brightness and other mechanical properties such as the tensile strength index machine direction (MD) and cross direction (CD), burst strength index, tear strength index (MD and CD), and ring crush test in the cross direction in frozen coating samples with increasing thickness and surface smoothness; a decrease in other mechanical properties was observed. The samples coated twice showed very few pores. The thickness and surface smoothness of white coated kraft paper showed an increase of 30.8% and 37.7%, respectively, compared to the control sample. Water absorption, burst strength index, tear strength index (MD and CD), tensile strength index (MD and CD), ring crush test (MD and CD), and the brightness of the double-coated white kraft paper compared to the control sample, respectively showed a decrease of 151, 87.4, 15, 13, 104.2, 103.2, 67.1, 82.3 and 11.8%. According to the obtained results, it is recommended that papers such as liquid packaging cardboard, juice and milk packets, which have many applications in food packaging, should be tested with these coatings with different times.

©2023 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

One of the most important sectors in the food production industry is the packaging sector. In general, packaging materials play an important role in the safety and quality of food storage. In addition to low cost, packaging materials in contact with food should have proper barrier properties, be recyclable, and not cause environmental problems. Coating is used to optimize the characteristics of the paper surface for specific needs. Nanotechnology is a science that has found its way into almost all fields of science and industry with its innovative and mostly optimized techniques. A group of nanomaterials known as biological nanomaterials have a biological origin, so it can be said that this category of materials is biocompatible, biodegradable and renewable. Among these materials, nano-clay and nano-polyurethane are of great interest due to their intrinsic properties, including high specific surface area, high length-to-diameter ratio, abundance of resources, low density, high mechanical strength, renewable capability, and biodegradability. In general, packaging papers need high mechanical resistance and barrier properties. This privilege is very important for packing products that have moisture and storing and transporting them in cold storage. Silicon-based nano-clay coating creates a less porous surface, which makes it possible to use a thinner layer of polymer coating with greater water resistance. Therefore, in this research, coating materials that are simultaneously renewable and biodegradable, increase the liner's resistance to moisture, and minimize the contact between the inside and outside of the cardboard and solve the problems of using cardboard in the packaging industry of refrigerated products (such as exporting fruits, shrimps and fish) in the country were investigated**.**

Methodology

In this research, the white Kraft liner cardboard used by Pars company was prepared with a base weight of 131 grams per square meter. The used nano-polyurethane was prepared by a knowledge enterprise. For coating, the liners were first clamped on a plywood and coated by a gun. Due to the impossibility of exact coverage amount, liners with a coverage of about 15 grams per square meter were used for initial coverage. In the second step, liners were coated using a rod cutter. The solution was spread evenly on the liner. The coated samples were dried in the open air. Physical properties and mechanical properties of manufactured papers were measured according to TAPPI standards. Microscopic images were observed using a field emission electron microscope. In order to analyze the data, one-way analysis of variance was used and Duncan's test was used to compare the means.

Results and discussion

When coating is carried out, more molecular contact between the coating compounds may weaken the compacting forces of the polymer chain and, as a result, further open the coating matrix. As a result, it increases the thickness, which indicates the loss of homogeneity and uniformity in the coating layer. Regarding the water absorption resistance of the samples, it should be said that the low hydrophilicity of nano-polyurethane

and nano-clay caused these materials to absorb less water molecules. Also, this decrease can be because a non-hydrophilic surface was created by covering the surface of the paper, resulting in the surface's hydrophilicity and water absorption to decrease. This decrease in water absorption can be attributed to the small size of nanoparticles and consequently greater specific surface area. These particles are more easily placed in the voids between the fibers and by filling the voids, they caused a decrease in water absorption. Pournsir et al. concluded in their research that due to the very small size of nanoparticles, they can easily fill the empty spaces of the porous coating matrix; therefore, the easy diffusion of water or humidity becomes difficult causing the decrease of hydrophilic properties. There is a significant difference in the smoothness of the paper surface, which is one of the indicators of the paper's printability. The use of double coating led to an increase in smoothness. Of course, it should be kept in mind that this issue is normal and by performing ultrasound operations, this feature will definitely improve to a greater extent than in the control sample. It seems that the coating solution absorbed by the paper weakened the mechanical properties. The tensile and bursting resistance of uncoated cardboards was significantly higher than coated cardboards which demonstrated that the flexibility of coated cardboards is greater than that of uncoated cardboards. The decrease in tensile strength and bursting might be due to the penetration of the coating solution into the fiber network, leading to the swelling of the cellulose fibers as well as disruption of fiber-to-fiber connections. This reduction in tensile strength was consistent with the results of studies by Taigi et al. (2021) and Semple et al. (2022). In both research studies, the application of coating reduced the resistance**.**

Conclusion

Covering cardboard with nano-polyurethane and nano-clay gives the cardboard water resistance properties. Since in Iran, to improve the barrier properties of packaging cardboard, plastic polymers are used, which has made recycling difficult, the use of this coating is both economically and environmentally useful for the packaging industry due to its degradability by the environment and its capability to be recycled.

کارافن
فصلنامه علمی دانشگاه فنی و حرفه‌ای
پاییز ۱۴۰۲، دوره ۲۰، شماره ۳، ۶۶۱-۶۴۱
آدرس نشریه: https://karafan.tvu.ac.ir/
doi:10.48301/KSSA.2023.382580.2425

مقاله پژوهشی
شاپای الکترونیکی: ۲۵۳۸-۴۴۳۰
شاپای چاپی: ۲۳۸۲-۹۷۹۶

بررسی تأثیر پوشش دولایه با نانومواد زیست‌تخریب‌پذیر روی خواص کاغذ کرافت رویه سفید سردخانه‌ای

جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی[1*]، احمد ثمریها[2]

۱- دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران.
۲- استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران.

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴
بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹

کلید واژگان:
پوشش
لایه‌ای
نانومواد
زیست‌تخریب‌پذیر
رویه سفید
دمای صفر

***نویسنده مسئول:** جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی
پست الکترونیکی:
jafar_kasmani@yahoo.com

چکیده

این بررسی با هدف تأثیر پوشش لایه‌ای نانو پلی‌اورتان و نانورس روی بهبود خواص کاغذ کرافت رویه سفید سردخانه‌ای مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی انجام شد. برای این منظور کاغذ کرافت رویه سفید با وزن پایه ۱۳۱ گرم بر مترمربع تهیه و مورد آزمون قرار گرفت. برای پوشش‌دهی سطح کاغذ، ابتدا نانو پلی‌اورتان با روش پاشش توسط یک نازل به مقدار حدود ۱۵ گرم بر مترمربع بر سطح کاغذ رویه سفید اعمال شد. در مرحلهٔ دوم، برای بهبود عملکرد مادهٔ پوششی مرحلهٔ اول، سطوح کاغذ کرافت رویه سفید سردخانه‌ای با نانو رس توسط یک دستگاه پوشش‌دهنده آزمایشگاهی پوشش داده شد. در این مرحله، مادهٔ پوششی به مقدار ۲۷ گرم بر مترمربع بر سطح رویی کاغذ کرافت رویه سفید پوشش داده شد. بعد از پوشش‌دهی با مهارشدن، نمونه‌ها در دمای اتاق به مدت یک روز خشک شدند تا مادهٔ پوششی بر سطح آن تثبیت شود. سپس نمونه‌ها در داخل فریزر به مدت ۲ و ۴ ماه قرار گرفته و در ادامه خواص آنها اندازه‌گیری شد. قبل از آزمون‌ها نمونه‌های شاهد و پوشش داده شده در شرایط محیطی استاندارد (دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵٪) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که پوشش‌دهی (شاهد) باعث افزایش ضخامت، صافی سطح و مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین و کاهش جذب آب، روشنی و سایر خواص مکانیکی نظیر شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین و در جهت عرضی ماشین، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن، شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن در جهت ماشین و در جهت عرضی ماشین و مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت عرضی ماشین گردید. در نمونه‌های پوشش‌دهی فریز شده با افزایش ضخامت و صافی سطح، کاهش سایر خواص مکانیکی مشاهده شد. نمونه‌های دو بار پوشش‌دهی شده منافذ بسیار کمی را نشان داد. ضخامت، صافی سطح کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی و شده نسبت به نمونهٔ شاهد به ترتیب ۳۰/۸، ۳۷/۷ درصد افزایش را نشان داد. جذب آب، مقاومت در برابر ترکیدن، مقاومت در برابر پاره‌شدن در جهت ماشین، مقاومت در برابر پاره‌شدن در جهت عرض ماشین، مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین، مقاومت در برابر کشش در جهت عرض ماشین، مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین و مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت عرض ماشین و روشنی کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونهٔ شاهد به ترتیب ۱۵۱، ۸۷/۴، ۱۵، ۱۳، ۱۰۴/۲، ۱۰۳/۲، ۶۷/۱، ۸۲/۳ و ۱۱/۸ درصد کاهش را نشان داد. با توجه به نتایج به دست آمده، پیشنهاد می‌شود کاغذهایی مانند مقوای بسته‌بندی مایعات، پاکت‌های آبمیوه و شیر که کاربردهای زیادی در بسته‌بندی مواد غذایی دارند با این پوشش‌ها البته با زمان‌های متفاوت‌تر مورد آزمون قرار گیرد.

©2023 Technical and Vocational University, Tehran, Iran. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

مقدمه

تنوع تولید کاغذ در جهان بسیار زیاد است که ممکن است مصارف اختصاصی و غیرعمومی داشته باشند. یکی از بخش‌های مهم در صنایع تولید مواد غذایی، بخش بسته‌بندی است. به طورکلی مواد بسته‌بندی نقش مهمی در ایمنی و کیفیت نگهداری غذا ایفا می‌کنند. کارتن‌هایی که به کارتن‌های سردخانه‌ای معروف هستند، مناسب موادی هستند که برای نگهداری به سرما نیاز دارند. از جمله این مواد می‌توان به مواد خوراکی دریایی، مواد لبنی و میوه‌ها اشاره کرد. در بدنهٔ این کارتن‌ها سوراخ قرار داده می‌شود تا هوای سرد بتواند به فضای داخلی راه پیدا کرده و مواد خوراکی را از خراب‌شدن و فساد در اثر گرمای هوا محافظت نماید. معمولاً ماده‌ای که برای تولید این نوع مقوا استفاده می‌شود، باید در برابر وزن محصولی که در آن قرار دارد به‌خوبی مقاومت کرده و دچار شکست و پارگی نشود. مسئلهٔ هزینه و مشکلات زیست‌محیطی پس از مصرف، از مسائل مهم صنایع تولید مواد بسته‌بندی به شمار می‌روند. کاغذ کرافت، کاغذی است بسیار محکم با انعطاف زیاد و مقاوم در برابر پارگی، از این نوع کاغذ در صنعت بسته‌بندی، کارتن‌سازی، پاکت گچ و سیمان، مقواهای چندلایه، پاکت‌های مستحکم و غیره استفاده می‌شود [۱]. مواد سلولزی مانند کاغذ و مقوا به دلیل سازگاری با محیط‌زیست و زیست‌تخریب‌پذیری، قابلیت بازیافت و چاپ‌پذیری خوب، کاربرد گسترده‌ای در صنعت بسته‌بندی دارند [۲].

مواد بسته‌بندی در تماس با مواد غذایی علاوه بر هزینهٔ کم، باید دارای خصوصیات ممانعتی مناسبی بوده و قابل بازیافت باشند و مشکلات زیست محیطی به دنبال نداشته باشند. مقاومت در برابر رطوبت و اکسیژن نیازهای اساسی بسته‌بندی‌های مقوایی در صنایع غذایی است [۳].

پوشش‌دهی جهت بهینه‌کردن ویژگی‌های سطح کاغذ برای نیازهای خاص استفاده می‌شود. دو نوع ماده تشکیل‌دهنده پایه و اساسی در ترکیب مواد پوشش‌دهی کاغذ وجود دارد: افزودنی‌های پوشش دهنده و چسب‌ها یا اتصال دهنده‌ها. افزودنی‌ها جهت پوشش الیاف و دستیابی به سطح صاف‌تر استفاده می‌شوند و چسب‌ها ذرات افزودنی را به یکدیگر و به لایه‌های کاغذ متصل می‌کند. آنها همچنین خواص نهایی پوشش سطحی شامل تنظیم میزان جذب مرکب، مقاومت به آب، براقیت و مقاومت به کنده‌شدن سطحی را کنترل می‌کنند. مهمترین افزودنی که به طور معمول برای پوشش‌دهی استفاده می‌شود، خاک رس بسیار پالایش شده می‌باشد. خاک رس پوشش‌دهی، از ذرات ریز که به طور طبیعی به شکل صفحات کوچک هستند و روی هم لغزیده و همدیگر را می‌پوشانند، تشکیل شده است که پس از پوشش‌دهی و اتوزنی سطح پوشیدهٔ بسیار مناسبی با براقیت و قابلیت نگه‌داری خوب مرکب ایجاد می‌کند [۴].

اتصال‌دهنده‌ها ممکن است طبیعی یا مصنوعی باشند. اتصال‌دهنده‌هایی که از منابع طبیعی به دست می‌آیند، شامل نشاسته، کازئین، پروتئین سویا می‌باشند. نشاسته که از ذرت، گندم، سیب زمینی و گیاه کاساوا یا مانیوک به دست می‌آید از اتصال‌دهنده‌های اصلی می‌باشد. برای بهبود ویژگی‌های ممانعتی کاغذ بسته‌بندی، استفاده از پلیمرهای مصنوعی مثل پلی‌اتیلن، لاتکس و پلی ونیل الکل به دلیل عدم بازیافت و تجزیه مؤثر از نظر زیستی مشکلاتی ایجاد می‌کند [۵].

محققین اثر پیش تیمار کرونا را بر کارایی لایهٔ ممانعتی توسط لایهٔ نشانی اتمی[1] بر مقوا پوشش داده شده با پلی‌مر را بررسی کردند. دو نوع مقوای پوشش شده پلی اتیلن و پلی لاکتیک تحت تیمار کرونا قرار گرفت. تأثیر پیش تیمار کرونا بر مقوای پوشش داده شده با پلی‌مر زیستی اندک بود ولی در ممانعت نسبت به اکسیژن، تأثیر بیشتری داشت [۶]. انواع پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و لیپیدها به علت ایجاد پیوند هیدروژنی زیاد، از نظر زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفته‌اند [۷].

پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر باعث تقویت خواص ممانعتی و مقاومتی کاغذ می‌گردند [۸]. مهمترین مزیت این نوع از پوشش، جدایی آسان از سطح کاغذ و مقوا در فرآیندهای شیمیایی یا آنزیمی است و این موضوع، امکان بازیافت بیشتر

[1] Atomic layer deposition (ALD)

را فراهم می‌کند [۹]. ساختار متخلخل الیاف سلولز می‌تواند خواص ممانعتی در برابر رطوبت را در کاغذ محدود کند و لذا انتقال رطوبت در کاغذ می‌تواند به وسیلهٔ انتشار بخارآب از طریق فضاهای خالی و همچنین به شکل متراکم شده از طریق دیواره‌های سلولی الیاف اتفاق افتد [۱۰].

نانو فناوری، علمی است که با تکنیک‌های نوآورانه و عمدتاً بهینهٔ خود، تقریباً به تمام حوزه‌های علم و صنعت راه پیدا کرده است. این علم، با بررسی و دستکاری مواد در مقیاس اتم‌ها و مولکول‌ها، سر و کار داشته و با تغییر خواص مواد مختلف در سطح نانو، باعث ایجاد مزایای مکانیکی، نوری، الکتریکی و غیره می‌شود، خواصی که در حالت توده‌ای در چنین موادی وجود ندارد یا حداقل ضعیف است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی برای جایگزینی مواد نفتی با مواد تجدید شونده و دوست‌دار محیط زیست انجام شده است [۱۱]. گروهی از نانومواد معروف به نانومواد زیستی، منشأ زیستی دارند بنابراین می‌توان گفت این دسته از مواد زیست سازگار، زیست‌تخریب‌پذیر و تجدید پذیرند [۱۲]. از جمله این مواد نانو رس و نانو پلی‌اورتان به دلیل ویژگی‌های ذاتی جالب، از جمله سطح ویژهٔ زیاد، نسبت طول به قطر زیاد، فراوانی منابع، دانسیته کم، مقاومت مکانیکی بالا، قابلیت تجدیدپذیری، زیست‌تخریب‌پذیری مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند [۱۳].

استفاده از مواد زیست‌تخریب‌پذیر برای پوشش‌دهی کاغذ در حال گسترش است. این مواد شامل نشاسته، نانوسلولز، پروتئین سویا، گلوتن گندم، کیتوزان و ... هستند. پوشش‌های پلی‌ساکاریدی کاغذ، به دلایلی چون بهبود ممانعت در برابر آب و گازها و همچنین اثر مثبت بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذ بسته‌بندی، امیدوارکننده ظاهر شده‌اند [۱۴; ۱۵]. این ماده به عنوان عامل تقویت کننده برای بهبود خواص پلیمرها استفاده می‌شود. به دلیل ویژگی‌های مکانیکی مطلوب و توانایی تشکیل شبکه و فیلم خوب، این ماده به عنوان تقویت کنندهٔ عالی برای محصولات پلیمری مورد توجه قرار گرفته‌است [۱۶]. به طور کلی، کاغذهای بسته‌بندی به مقاومت‌های مکانیکی و ویژگی‌های ممانعتی بالایی نیاز دارند. این امتیاز برای بسته‌بندی محصولاتی که رطوبت دارند و نگهداری و حمل و نقل آن به‌صورت سردخانه‌ای می‌باشد از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. از مهمترین نوع این جعبه‌های مقوایی به بسته‌بندی‌های گوشت می‌توان اشاره کرد [۱۷].

پوشش نانو رس پایه سیلیکونی، سطح متخلخل کمتری را ایجاد می‌کند که باعث می‌شود استفاده از لایهٔ نازک‌تری از پوشش پلیمری با مقاومت بیشتری در برابر آب ایجاد شود. همچنین استفاده از پوشش مخلوط پلیمری و افزودنی‌ها موجب افزایش سفتی کاغذ می‌شود؛ بنابراین در این تحقیق از موادی برای پوشش‌دهی استفاده شد که در عین حال که قابلیت تجدیدپذیری و زیست‌تخریب‌پذیری دارند، مقاومت کاغذ را به رطوبت بالا ببرند و ارتباط داخل و خارج کاغذ را به حداقل ممکن برسانند و مشکلات استفاده از کاغذها را در صنایع بسته‌بندی محصولات سردخانه‌ای (مثل صادرات میوه‌ها، میگو و ماهی) در کشور برطرف نمایند.

روش انجام آزمایش

کاغذ پایه

در این تحقیق کاغذ کرافت رویه سفید سردخانه‌ای مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی از شرکت پارس تهیه شد. وزن پایهٔ این کاغذ ۱۳۱ گرم بر مترمربع بود.

نانو پلی‌اورتان

محلول نانو پلی‌اورتان مورد استفاده از شرکت دانش‌بنیان مواد مهندسی مکرر با مشخصات مندرج در جدول ۱ تهیه شد.

جدول ۱. مشخصات نانو پلی‌اورتان.

شکل ظاهری	نوع	خاصیت امولسیونی	درصد مواد جامد	ویسکوزیته	اندازه ذرات
مایع زرد روشن	خود اتصال عرضی	آنیونیک	۳۳	۳۷۸ mPa.s	۱۰ تا ۷۰ نانومتر

نانو رس

در این تحقیق، پودر نانو رس کلوزیت ۳۰B تولید شده توسط شرکت خاک رس جنوبی[1] کشور آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات نانو رس در جدول ۲ آورده شده است. فاصلهٔ بین لایه‌ها در ذرات نانورس ۱۸/۵ آنگستروم بود. نانورس از نوع مونت موریلونیت طبیعی است که با نمک آمونیوم اصلاح شده است.

جدول ۲. مشخصات نانو رس.

نام تجاری	شرکت سازنده	شکل ذرات	اندازه ذرات (میکرون)	چگالی (g/cm3)
Cloisite-۳۰B	Southern Clay Products	کروی	%۱۰<۲ %۵۰<۶ %۹۰<۱۳	۱.۹۸

لاتکس

لاتکس استایرن بوتادی ان با نام تجاری NS-۸۷ از شرکت سیماب رزین تهران تهیه و برای پوشش‌دهی دوم استفاده گردید.

پوشش‌دهی کاغذ پایه

پوشش‌دهی اول

ابتدا کاغذ کرافت رویه سفید روی یک‌تخته لایه مهار شده و توسط یک پیستوله پوشش‌دهی انجام شد. تا حد امکان سعی شد پوشش‌دهی به‌صورت یکنواخت انجام شود. در این مرحله از نانو پلی‌اورتان برای پوشش‌دهی استفاده شد و با توجه به عدم امکان دقیق مقدار پوشش‌دهی، از کاغذهایی با پوشش حدود ۱۵ گرم بر مترمربع (وزن پوشش اعمال شده ۱۵ گرم بر مترمربع) برای پوشش‌دهی اولیه استفاده شد.

پوشش‌دهی دوم

جهت پوشش‌دهی دوم ابتدا ۴ گرم نانو رس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با ۲۰ گرم آب مقطر مخلوط شد و سپس با افزودن ۲/۵ گرم لاتکس استایرن بوتادی ان و ۰/۵ گرم پراکنده ساز D۲۰۰ شرکت سیماب رزین، به مدت ۲۰ دقیقه مجدداً بهم‌زنی شد. جهت پوشش لایهٔ دوم از یک فیلم کش میله‌ای میله شماره ۱۴ (RSD۱۴) استفاده شد. میزان پوشش دوم کاغذهای کرافت رویه سفید، بر اساس وزن حدود ۲۷ گرم بر مترمربع (وزن پوشش اعمال شده ۲۷ گرم بر مترمربع) انجام شد. حرکت میله دستگاه با سرعت ۲۵ میلی‌متر بر ثانیه، محلول به طور یکنواخت بر روی کاغذ کرافت رویه سفید پخش شد. بعد از پوشش‌دهی، نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۴

[1] Southern Clay

درصد به‌مدت یک روز خشک شدند. سپس نمونه‌ها در داخل فریزر با دمای حدود ۱۵- درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ و ۴ ماه قرار گرفتند. کدها و درصد ترکیبات پوشش داده شده و تیمارها در جدول ۳ خلاصه شده است. پس از این مرحله، نمونه‌ها برای انجام آزمون‌های پیش‌بینی شده در شرایط کلیما (دما ۲۷ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۶۵ درصد و مدت زمان ۲۴ ساعت) مطابق استاندارد ISO-۱۸۷ قرار گرفتند. شکل ۱ و ۲ نحوهٔ مهار و قرار گرفتن کاغذهای کرافت رویه سفید برای اعمال پوشش‌دهی اول با پیستوله و قرار گرفتن در فریزر را نشان می‌دهد.

شکل ۱. نحوهٔ مهار و قرارگرفتن کاغذ کرافت رویه سفید برای اعمال پوشش‌دهی اول با پیستوله.

شکل ۲. قراردادن کاغذ کرافت رویه سفید در فریزر برای ۲ و ۴ ماه.

جدول ۳. کدها و شرایط تیمارها.

ردیف	کد	مشخصات کد
۱	W_0	نمونه شاهد
۲	W_2	نمونه شاهد ۲ ماه فریز شده
۳	W_4	نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده
۴	WC_{20}	نمونه دو بار پوشش داده شده بدون فریز
۵	WC_{22}	نمونه دو بار پوشش داده شده ۲ ماه فریز
۶	WC_{24}	نمونه دو بار پوشش داده شده ۴ ماه فریز

اندازه‌گیری خواص کاغذ

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

خواص فیزیکی شامل ضخامت (T۴۱۱-Om۸۹)، جذب آب (T۴۴۱ om-۹۶)، صافی سطح (T۴۷۹ cm-۲۱)، خواص مکانیکی شامل شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین و جهت عرضی (T۴۰۴-Om۹۲)، شاخص ترکیدن (T، ۴۰۳ om-۰۲)، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین و در جهت عرضی (T۴۰۴om-۰۴)، مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین و در جهت عرضی (T۸۱۸ cm-۹۷) و خواص نوری شامل روشنی (T۴۰۳-Om۹۱) کاغذهای ساخته شده مطابق با استانداردهای TAPPI اندازه‌گیری شد.

مطالعات میکروسکوپی

تصاویر میکروسکوپی در پژوهشگاه متالورژی رازی از سطح نمونه‌های شاهد و پوشش داده شده به‌وسیلهٔ دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی مدل Mira XMU-۳ تهیه گردید.

محاسبات آماری

طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق، از نوع کاملاً تصادفی بوده و جهت پردازش نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۳) استفاده شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از تجزیه واریانس یک‌طرفه و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

برای بررسی اختلاف آماری بین میانگین خواص مورد بررسی، از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. مقدار F به دست آمده از این آزمون و سطح معنی‌داری در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی‌داری) اثر متغیرهای ساخت بر خواص مورد آزمون.

ویژگی	مقدار F	سطح معنی‌داری
ضخامت (μ)	۵۳۴۷۶۹/۶۵۴*	۰/۰۰۰
جذب آب (g/m^2)	۲۵۷۲۸۹۸/۰*	۰/۰۰۰
صافی سطح (S)	۴۱/۴۳۷*	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت در برابر ترکیدن ($KPam^2/g$)	۹۱/۲۶۲*	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین (Nm^2/g)	۹۵/۷۲۹*	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرضی ماشین (Nm^2/g)	۲۱۲/۳۱۷*	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین (mKN/m)	۱۰۷/۵۳۹*	۰/۰۰۰
شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عرضی ماشین (mKN/m)	۴۲/۷۹۱*	۰/۰۰۰
مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین KN/m	۹/۶۷۹*	۰/۰۰۰
مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت عرضی ماشین KN/m	۲۱/۶۶۷*	۰/۰۰۰
روشنی (٪)	۱۳/۳۸۱*	۰/۰۰۰
سطح معنی‌داری: * ۹۵٪، ns: عدم معنی‌داری		

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر ضخامت، جذب آب، صافی سطح، شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین و در جهت عرضی، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت

ماشین و در جهت عرضی ماشین، مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین و در جهت عرضی ماشین و روشنی ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح معنی‌داری ۹۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و به‌ترتیب مقادیر ضخامت در چهار، جذب آب در شش گروه، مقادیر صافی سطح در دو گروه، شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین در چهار گروه، شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عرضی ماشین در سه گروه، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن در سه گروه، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین در چهار گروه، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرضی ماشین در پنج گروه، مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین در دو گروه، مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت عرضی ماشین در چهار گروه و روشنی در دو گروه قرار داشته است. جدول ۵ خلاصه‌ای از نتایج خواص مورد آزمون و گروه‌بندی مربوطه را نشان می‌دهد. حروف کوچک ارائه شده در جدول ۵ و تمام شکل‌ها مربوط به گروه‌بندی دانکن است.

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین خصوصیات کاغذهای مختلف.

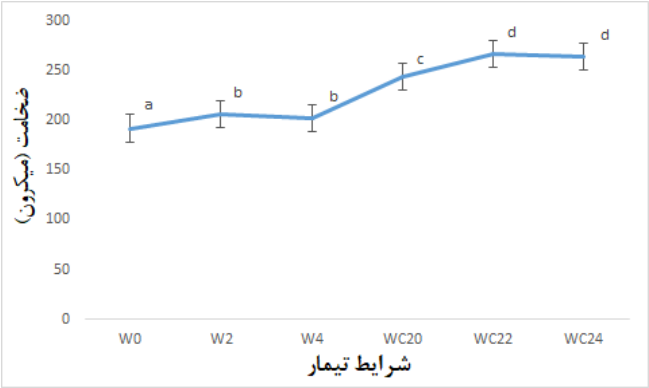
نام نمونه	نام آزمون	ضخامت	جذب آب	صافی سطح	شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین	شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عرضی ماشین	شاخص مقاومت در برابر ترکیدن	شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین	شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرضی ماشین	مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین	مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت عرضی ماشین	روشنی
		μ	g/m^2	S	mKN/m	mKN/m	$KPam^2/g$	Nm^2/g	Nm^2/g	KN/m	KN/m	%
W0		۱۹۲/۲۵^{a}	۷۰/۵۰^{d}	۴/۴۳^{a}	۶۷/۸۱^{d}	۳۵/۰۲	۲/۳۹^{c}	۴/۹۳^{b}	۵/۸۳^{c}	۴/۸۳^{a}	۶/۵۳^{b}	۷۸/۶۰^{b}
W2		۲۰۶/۷۵^{b}	۷۴/۴۰^{e}	۴/۴۳^{a}	۶۰/۴۳^{c}	۳۴/۸۱	۲/۱۸^{b}	۶/۵۰^{c}	۸/۰۵^{e}	۶/۷۲^{b}	۸/۵۰^{c}	۷۶/۹۵^{b}
W4		۲۰۲/۵^{b}	۷۶/۳۰^{f}	۴/۴۳^{a}	۶۰/۰۵^{c}	۳۴/۵۲	۲/۳۸^{c}	۷/۵۰^{d}	۸/۲۸^{e}	۷/۱۲^{b}	۹/۷۵^{d}	۷۸/۸۳^{b}
WC20		۲۴۴/۰۸^{c}	۲۳/۷۱^{a}	۶/۱۰^{b}	۳۶/۰۲^{b}	۱۹/۸۲^{a}	۱/۲۰^{a}	۳/۸۲^{a}	۴/۵۰^{b}	۶/۸۶^{b}	۷/۶۸^{c}	۶۹/۳۳^{a}
WC22		۲۶۷/۲۵^{d}	۲۵/۵۰^{b}	۶/۱۰^{b}	۳۵/۲۸^{b}	۲۶/۲۸^{b}	۱/۲۰^{a}	۳/۷۱^{b}	۳/۹۲^{a}	۴/۴۷^{a}	۵/۹۷^{ab}	۷۱/۷۱^{a}
WC24		۲۶۵/۰۰^{d}	۳۰/۴۰^{c}	۶/۱۰^{b}	۲۹/۴۱^{a}	۱۳/۹۸a	۱/۲۷^{a}	۶/۵۲^{c}	۷/۳۳^{d}	۴/۲۶^{a}	۵/۳۲^{a}	۷۰/۴۹^{a}

حروف کوچک روی اعداد گروه بندی دانکن را نشان می‌دهد.

خواص فیزیکی

شکل ۳ میانگین تغییرات ضخامت برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین میزان ضخامت مربوط کاغذ کرافت رویه سفید دوبار پوشش داده شده ۲ ماه فریز با کد WC۲۴ و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد با کد W۰ است.

رسوب پوشش روی بستر سلولزی منجر به افزایش ضخامت شد. این رسوب موجب شکل‌گیری یک‌لایه پوشش می‌شود که ضخامت این لایه پوشش شکل‌گرفته تحت‌تأثیر طبیعت پلیمر و مقدار مواد جامد محلول پوشش می‌باشد [۱۸]. هنگامی‌که پوشش‌دهی انجام می‌گیرد، تماس مولکولی بیشتر بین ترکیبات پوشش ممکن است نیروهای متراکم کننده زنجیره پلیمری را تضعیف کند و ماتریس پوشش را بیشتر باز کند که در نتیجه باعث افزایش ضخامت می‌شود که نشان‌دهندهٔ از دست رفتن همگنی و یکنواختی در لایه پوشش است [۱۹].



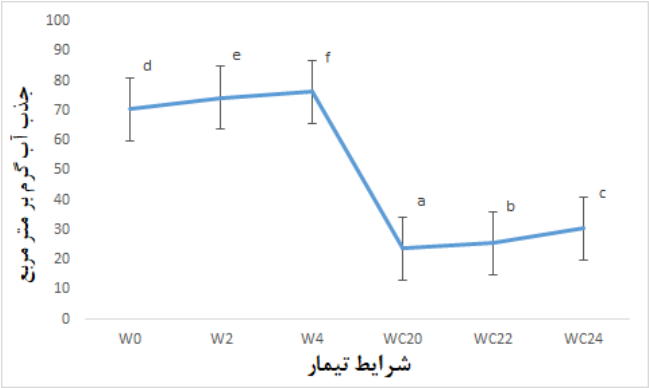
شکل ۳. مقایسهٔ میانگین ضخامت کاغذهای مختلف.

شکل ۴ میانگین تغییرات جذب آب برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که کمترین میزان جذب آب مربوط به کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده بدون فریز با کد WC۲۰ است و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده است.

نفوذپذیری نسبت به آب یکی از پارامترهای مهم در بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشد که با تکیه بر روشی کارآمد نظیر پوشش‌دهی سطوح کاغذ می‌توان ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی را بهبود دهد [۲۰]. به طورکلی جذب آب کاغذ به دو عامل، ساختار متخلخل ورقه و برهم‌کنش بین الیاف و آب، بستگی دارد. در حقیقت در این آزمون مشخص می‌شود هنگامی‌که کاغذ در تماس مستقیم با آب قرار می‌گیرد، چه مقدار آب جذب می‌کند. با افزایش سطح پوشش، جذب آب کاغذ کاهش یافت. همچنین در نمونه‌های پوشش و فریز شده جذب آب کاهش یافته است. در شبکهٔ کاغذی، مولکول‌های آب تنها از طریق الیاف جذب نمی‌شوند، بلکه حفره‌های بین الیاف و منافذ کاغذ هم در جذب آب تأثیر دارند. پوشش‌های پلیمری، ساختار کاغذ را آغشته و منافذ و حفره‌ها را پر می‌کنند و تشکیل یک‌لایه روی کاغذ می‌دهند. در نتیجه این لایه یا فیلم موجب کاهش جذب آب می‌شود [۲۱]. در مورد مقاومت به جذب آب نمونه‌ها باید گفت که آب‌دوستی کم نانو پلی‌اورتان و نانو رس باعث شده است که این مواد مولکول‌های آب کمتری را به خود جذب کند؛ بنابراین آب به ساختار کاغذ نرسیده و توسط الیاف سلولزی جذب نمی‌شود. همچنین این کاهش به این دلیل می‌تواند باشد که با پوشش‌دهی سطح کاغذ، یک سطح غیر آب‌دوست ایجاد شد، در نتیجه آب‌دوستی سطح و جذب آب کاهش یافت. همچنین کاهش جذب آب را می‌توان به کوچک بودن ابعاد نانو ذرات و در نتیجه سطح ویژه بیشتر نسبت داد. این ذرات راحت‌تر در خلل و فرج موجود در بین الیاف قرار می‌گیرند در نتیجه با پر کردن خلل و فرج، باعث کاهش میزان جذب آب شدند. [۲۳-۲۱]. پوشش‌های پلیمری، ساختار کاغذ را آغشته و منافذ و حفره‌ها را پر می‌کنند و تشکیل یک لایه روی کاغذ یا مقوا می‌دهند. در نتیجه این لایه یا فیلم موجب کاهش جذب آب می‌شود.

همچنین شایان‌ذکر است طی فرایند پوشش‌دهی میزان دسترسی آب به الیاف و تشکیل پیوند هیدروژنی با گروه‌های عاملی موجود در الیاف نیز کاهش می‌یابد و موجب کاهش جذب آب خواهند شد. پورنصیر و همکاران در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که به دلیل اندازهٔ خیلی کوچک نانو ذرات، آنها به آسانی می‌توانند فضاهای خالی ماتریس، پوشش خلل و فرج دار را پر کنند؛ لذا پخش آسان آب یا رطوبت مشکل می‌شود، در نتیجه سبب کاهش خاصیت آب‌دوستی می‌شود [۲۳].

به نظر می‌رسد با افزایش زمان فریز کردن، مولکول‌های آب فرصت بیشتری برای نزدیک شدن به الیاف داشته و دسترسی آب به الیاف و تشکیل پیوندهای هیدروژنی بیشتر می‌گردد و این عامل باعث افزایش جذب آب شده است.

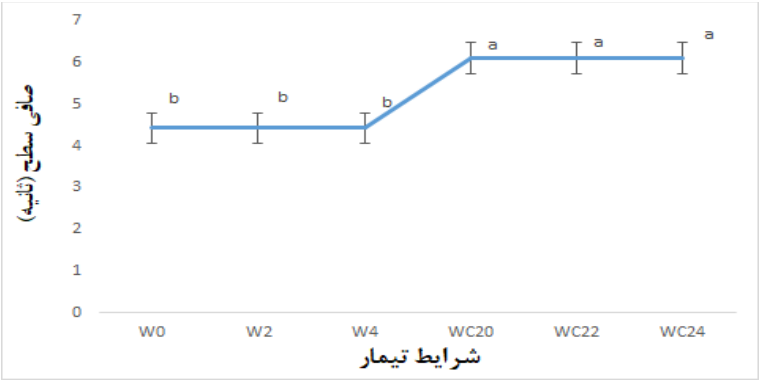


شکل ۴. مقایسهٔ میانگین جذب آب کاغذهای مختلف.

شکل ۵ میانگین تغییرات صافی سطح برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار صافی سطح مربوط به تیمارهای پوشش داده شده و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های شاهد است.

صافی سطح کاغذها که یکی از شاخص‌های چاپ‌پذیری کاغذ است، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. استفاده از دوبار پوشش منجر به افزایش صافی شده است. البته باید مد نظر قرار داشت که این موضوع طبیعی است.

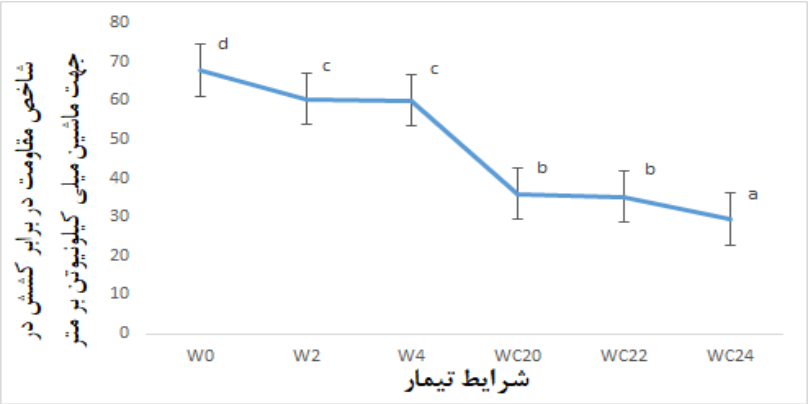
کاغذ شبکه‌ای از الیاف به هم چسبیده سلولزی است که با وجود عبور از غلتک‌های مختلف در قسمت پرس و خشک‌کن ماشین کاغذ، دارای خلل و فرج زیاد و در نتیجه ناصافی (زبری) در سطح می‌باشد. پر کردن خلل و فرج سطح کاغذ اساساً سبب بهبود صافی سطح آن می‌شود. در واقع مواد پوشش‌دهی در حفره‌های کوچک ورقهٔ کاغذ قرار گرفته و موجب کاهش غیریکنواختی سطح کاغذ می‌شود.



شکل ۵. مقایسهٔ میانگین صافی سطح کاغذهای مختلف.

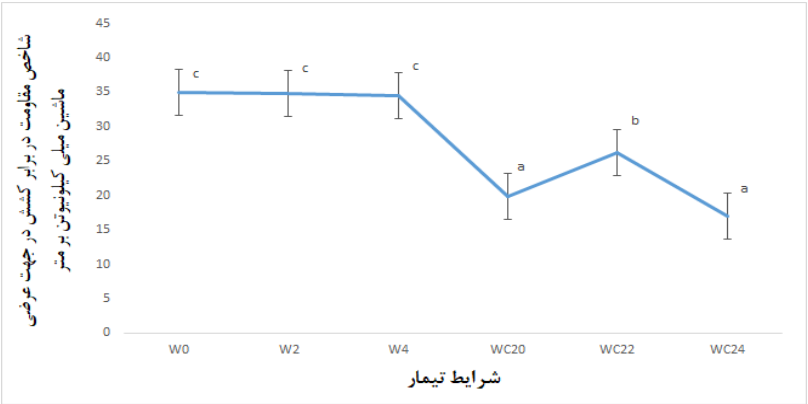
خواص مکانیکی

شکل ۶ میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به نمونه شاهد با کد W۰ و کمترین مقدار متعلق به کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده ۴ ماه فریز با کد WC۲۴ است.



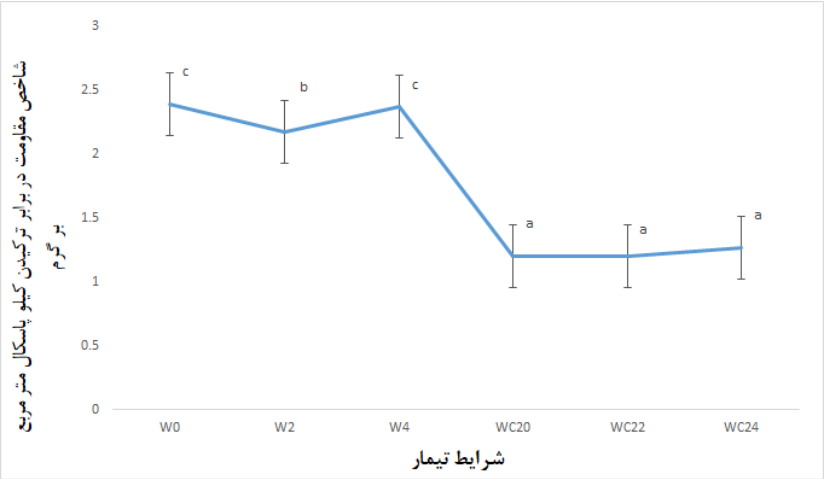
شکل ۶. مقایسهٔ میانگین شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین کاغذهای مختلف.

شکل ۷ میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عرضی ماشین را برای ۶ نوع کاغذ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به نمونه شاهد با کد W۰ است و کمترین مقدار آن متعلق به کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده ۴ ماه فریز با کد WC۲۴ است.



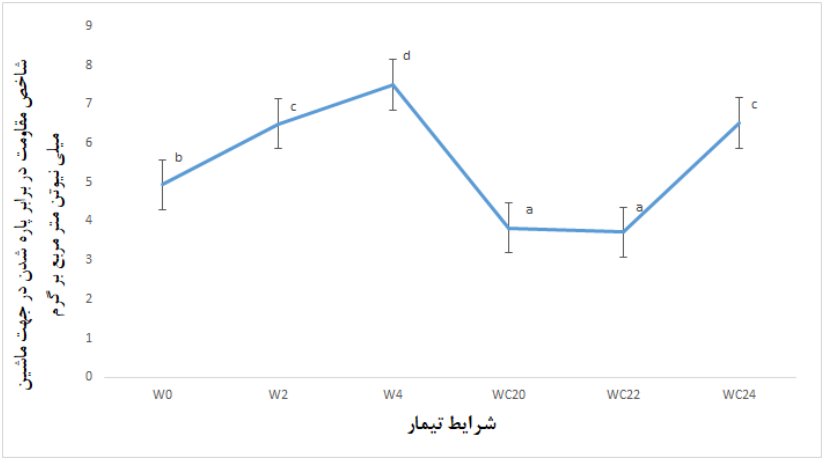
شکل ۷. مقایسهٔ میانگین شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عرضی ماشین.

شکل ۸ میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر ترکیدن برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به نمونه شاهد با کد W۰ و کمترین مقدار متعلق به دو نمونه کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده بدون فریز و ۲ ماه فریز با کد WC۲۰ و WC۲۲ است.



شکل ۸. مقایسهٔ میانگین شاخص مقاومت در برابر ترکیدن.

شکل ۹ میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به کاغذ کرافت رویه سفید شاهد (۴ ماه فریز شده) با کد W۴ و کمترین مقدار آن متعلق به نمونه کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده ۲ ماه فریز با کد WC۲۲ است.

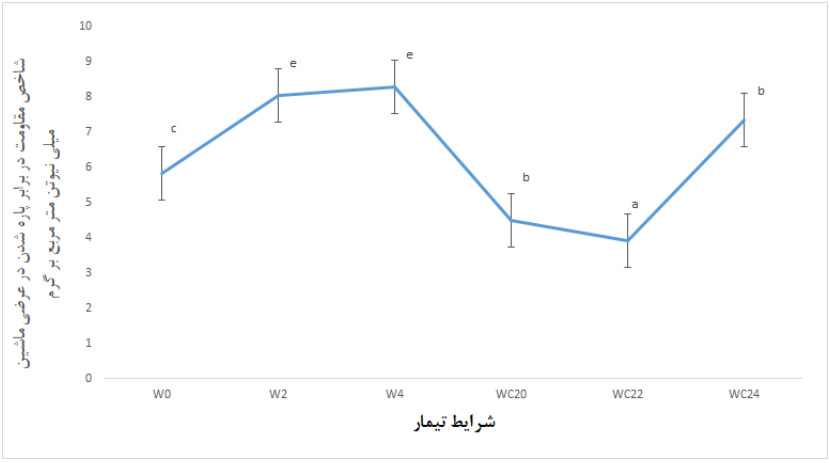


شکل ۹. مقایسهٔ میانگین شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین.

شکل ۱۰ میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرضی ماشین برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این شاخص مربوط به کاغذ کرافت رویه سفید شاهد (۴ ماه فریز شده) با کد W۴ و کمترین مقدار آن متعلق به نمونه‌های کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده ۲ ماه فریز شده با کد WC۲۲ است. در خصوص افزایش مقاومت نمونه کاغذی که زمان بیشتری در فریزر باقی مانده می‌تواند به دلیل این‌که در معرض دمای پایین و رطوبت بوده است، مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌ای که کمتر در فریزر قرار گرفته است، داشته باشد. دمای

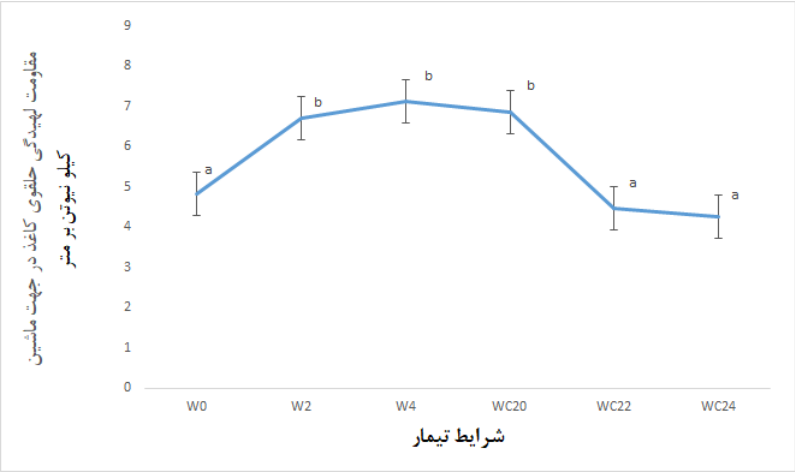
پایین و رطوبت باعث کاهش فرآیند تجزیه‌شدگی کاغذ می‌شود، به همین دلیل نمونهٔ کاغذی که بیشتر در فریزر باقی مانده، ممکن است شاخص مقاومت بهتری نسبت به نمونهٔ کاغذی که کمتر در فریزر قرار گرفته است، داشته باشد. علاوه بر این، زمانی که کاغذ در معرض دمای پایین و رطوبت قرار می‌گیرد، رطوبت به داخل کاغذ نفوذ کرده و باعث افزایش وزن و ضخامت کاغذ می‌شود. این افزایش ضخامت ممکن است باعث افزایش مقاومت کاغذ گردد.

یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر شاخص مقاومت در برابر پاره شدن، طول الیاف است. همچنین به مقاومت بین الیاف و مقاومت تک‌تک الیاف بستگی دارد. در نتیجه به دلیل قرار گرفتن نانوذرات در بین الیاف و تضعیف پیوند بین الیاف، معمولاً مقاومت بین الیاف کاهش و مقاومت تک‌تک الیاف تغییری نمی‌کند. پوشش‌ها تقریباً باعث کاهش مقاومت در برابر پاره شدن شده است. در توجیه آن، می‌توان علت را مقادیر کم‌مصرف نانوذرات و ابعاد نانومتری این نانو ذرات بیان کرد. چرا که ابعاد ریز این ذرات و در نتیجه قابلیت اندک آنها در ایجاد فاصله فیزیکی بین میکروفیبریل‌های الیاف، تأثیر کمی بر کاهش نسبی سطح پیوند و در نتیجه مقاومت‌های کاغذ داشته است.



شکل ۱۰. مقایسهٔ میانگین شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرضی ماشین.

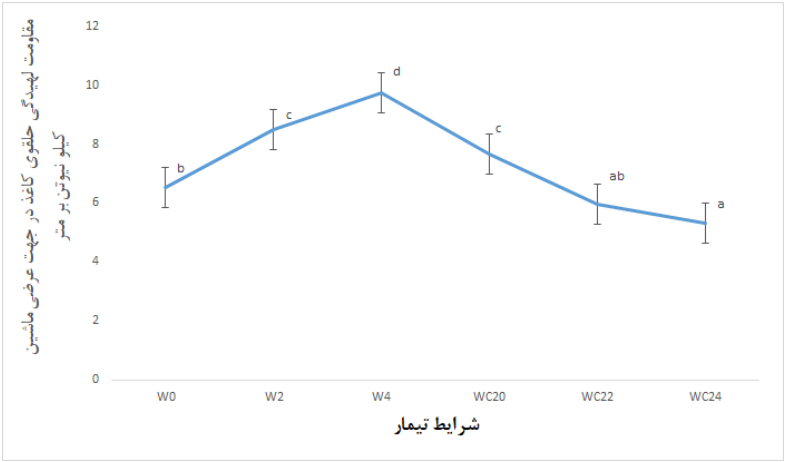
شکل ۱۲ میانگین تغییرات مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین در جهت ماشین برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این مقاومت مربوط به نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده و کمترین مقدار آن متعلق به کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده ۴ ماه فریز با کد WC۲۴ است.



شکل ۱۲. مقایسهٔ میانگین مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین.

شکل ۱۳ میانگین تغییرات مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت عرضی ماشین برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این مقاومت مربوط به نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده با کد W۴ و کمترین مقدار آن متعلق به کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده ۴ ماه فریز با کد WC۲۴ است.

به نظر می‌آید محلول پوششی که جذب کاغذ شده، خواص مکانیکی را تضعیف کرده است. مقاومت کششی و ترکیدن کاغذهای بدون پوشش به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از کاغذهای پوشش‌دهی شده است، این نتایج نشان می‌دهد که انعطاف‌پذیری کاغذهای پوشش‌دهی شده بیشتر از کاغذهای بدون پوشش است. کاهش مقاومت کششی و ترکیدن ممکن است به دلیل نفوذ محلول پوشش در شبکهٔ الیاف باشد که منجر به تورم الیاف سلولز و همچنین اختلال در اتصالات الیاف به الیاف می‌شود. به نظر می‌رسد افزایش سهم حلال (آب) موجب افزایش میزان نفوذ مواد پوشش به داخل شبکهٔ الیاف و کاهش مقاومت کششی شده است. این کاهش در شاخص مقاومت کششی با نتایج مطالعات قنبری و همکاران [۲۴] و ابراهیم‌پورکاسمانی و همکاران [۲۵] مطابقت دارد. در هر دو تحقیق، اعمال پوشش سبب کاهش شاخص مقاومت شده است.

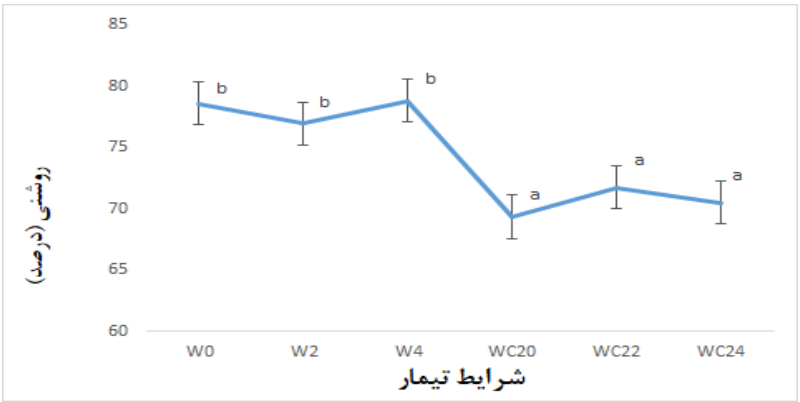


شکل ۱۳. مقایسهٔ میانگین مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت عرضی ماشین.

خواص نوری

شکل ۱۴ میانگین تغییرات روشنی برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد که بیشترین مقدار روشنی مربوط به نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده با کد W۴ و کمترین مقدار آن متعلق به نمونه کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده با کد WC۲۰ است.

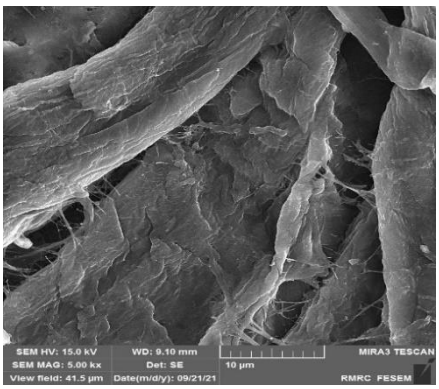
در عملیات پوشش‌دهی، که مواد بر روی سطح کاغذ اعمال می‌شوند. این مواد ممکن است باعث کاهش روشنایی کاغذ شوند. بسته به نوع پوشش میزان کاهش روشنایی ممکن است متفاوت باشد. همچنین، پوشش دادن ممکن است باعث افزایش ضخامت کاغذ شود و در نتیجه، نور به صورت بیشتری درون کاغذ جذب شده و کاهش روشنایی کاغذ را به دنبال دارد. علاوه بر این، پوشش ممکن است بر روی سطح کاغذ ناهمواری‌هایی ایجاد کند که باعث انعکاس نور به صورت نامناسب شود و کاهش روشنایی را به دنبال داشته باشد. در کل، افزایش ضخامت، ایجاد ناهمواری‌ها و جذب نور توسط پوشش محافظتی و رنگ، ممکن است باعث کاهش روشنایی کاغذ شود.



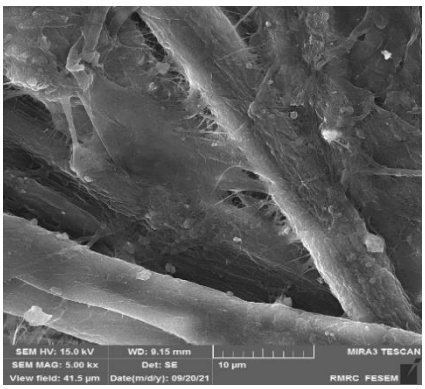
شکل ۱۴. مقایسهٔ میانگین روشنی کاغذهای مختلف.

مطالعات میکروسکوپی ساختار کاغذ (FE-SEM)

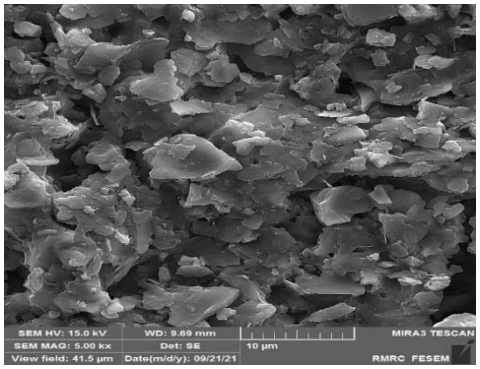
شکل ۱۵ ریزنگار میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FE-SEM) برای سطوح کاغذ کرافت رویه سفید شاهد (۱۲ الف)، کاغذ کرافت رویه سفید شاهد (۴ ماه فریز) (۱۲ ب)، کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده (۱۲ ج)، کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش داده شده (۴ ماه فریز) (۱۲ د)، را نشان می‌دهد. تصویر کاغذهای بدون تیمار نشان داد که دارای منافذ بوده؛ ولی نمونه‌های پوشش داده شده منافذ بسیار کمی را داشتند. ساختار میکروسکوپ الکترونی نشان داد در نمونه‌های پوشش داده شده منافذ و حفرات بین الیاف کاملاً پوشیده شده و پوشاندن این حفرات احتمالاً می‌تواند باعث یکنواختی و افزایش کیفیت چاپ شود.



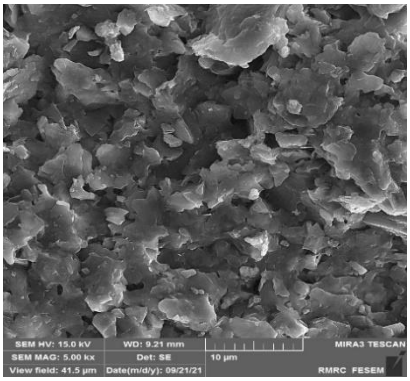
ب



الف



د



ج

شکل ۱۵. سطوح کاغذ کرافت رویه سفید شاهد (الف)، کاغذ کرافت رویه سفید شاهد (۴ ماه فریز) (ب)، کاغذ کرافت رویه دو بار پوشش داده شده (ج)، کاغذ کرافت رویه دو بار پوشش داده شده (۴ ماه فریز) (د).

نتیجه‌گیری

پوشش‌دهی کاغذ کرافت رویه سفید توسط نانو پلی‌اورتان و نانو رس، خواص ممانعت به آب به کاغذ می‌دهد. از آنجایی که در کشور ما، برای بهبود خواص ممانعتی کاغذ بسته‌بندی، از پلیمرهای پلاستیکی استفاده می‌کنند که بازیافت

را دچار مشکل کرده است، استفاده از این پوشش به دلیل زیست‌تخریب‌پذیر بودن توسط محیط و قابلیت بازیافت داشتن، هم از لحاظ اقتصادی و هم زیست‌محیطی برای صنعت بسته‌بندی مفید است. استفاده از پوشش مخلوط پلیمری و افزودنی‌ها موجب افزایش وزن و ضخامت کاغذ گردید؛ این کار به این دلیل انجام گردید که مقاومت کاغذ به رطوبت افزایش یابد و ارتباط داخل و خارج کاغذ به حداقل ممکن برسد و مشکلات استفاده از کاغذها در صنایع بسته‌بندی محصولات سردخانه‌ای (مثل صادرات میوه‌ها، میگو و ماهی) در کشور برطرف گردد.

نتایج کلی پژوهش به طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد:

۱- ضخامت کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۳۰/۸ درصد افزایش را نشان داد.

۲- جذب آب کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱۵۱ درصد کاهش را نشان داد.

۳- صافی سطح کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۳۷/۷ درصد افزایش را نشان داد.

۴- مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۸۷/۴ درصد کاهش را نشان داد.

۵- مقاومت در برابر پاره‌شدن در جهت ماشین کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱۵ درصد کاهش را نشان داد.

۶- مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرض ماشین کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱۳ درصد کاهش را نشان داد.

۷- مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱۰۴/۲ درصد کاهش را نشان داد.

۸- مقاومت در برابر کشش در جهت عرض ماشین کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱۰۳/۳ درصد کاهش را نشان داد.

۹- مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت ماشین کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۶۷/۱ درصد کاهش را نشان داد.

۱۰- مقاومت لهیدگی حلقوی کاغذ در جهت عرض ماشین کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۸۲/۳ درصد کاهش را نشان داد.

۱۱- روشنی کاغذ کرافت رویه سفید دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱۱/۸ درصد کاهش را نشان داد.

۱۲- نمونه‌های دو بار پوشش‌دهی شده منافذ بسیار کمی را نشان داد.

References

[1] Scott, W. (2006). *Basics of paper characteristics: structural, mechanical, optical* (E. Afrabandpi, Trans.). Ayezh. https://www.adinehbook.com/gp/product/964839783X

[2] Herrera, M. A., Mathew, A. P., & Oksman, K. (2017). Barrier and mechanical properties of plasticized and cross-linked nanocellulose coatings for paper packaging applications. *Cellulose*, *24*(9), 3969-3980. https://doi.org/10.1007/s10570-017-1405-8

[3] Raheem, D. (2017). Application Of Plastics And Paper As Food Packaging Materials - An Overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *25*(3), 177-188. https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i3.11509

[4] Yoon, S-Y., & Deng, Y. (2006). Clay–starch composites and their application in papermaking. *Journal of Applied Polymer Science*, *100*(2), 1032-1038. https://doi.org/10.1002/app.23007

[5] Trezza, T. A., & Vergano, P. J. (1994). Grease Resistance of Corn Zein Coated Paper. *Journal of Food Science*, *59*(4), 912-915. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb08156.x

[6] Hirvikorpi, T., Vähä-Nissi, M., Harlin, A., Marles, J., Miikkulainen, V., & Karppinen, M. (2010). Effect of corona pre-treatment on the performance of gas barrier layers applied by atomic layer deposition onto polymer-coated paperboard. *Applied Surface Science*, *257*(3), 736-740. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.07.051

[7] Marzbani, P., Azadfallah, M., Yousefzadeh, M., Najafi, F., & Pourbabaee, A. A. (2020). A novel paper packaging coated with polyethylene wax based dispersion barrier coating for food packaging applications. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, *11*(1), 85-95. https://www.ijwp.ir/article_36139.html?lang=en

[8] Gällstedt, M., Brottman, A., & Hedenqvist, M. S. (2005). Packaging-related properties of protein- and chitosan-coated paper. *Packaging Technology and Science*, *18*(4), 161-170. https://doi.org/10.1002/pts.685

[9] Cutter, C. N. (2006). Opportunities for bio-based packaging technologies to improve the quality and safety of fresh and further processed muscle foods. *Meat Science*, *74*(1), 131-142. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.023

[10] Marzbani, P., Resalati, H., Ghasemian, A., & Shakeri, A. (2016). Surface modification of talc particles with phthalimide: study of composite structure and consequences on physical, mechanical, and optical properties of deinked pulp. *BioResources*, *11*(4), 8720-8738. https://doi.org/10.15376/biores.11.4.8720-8738

[11] Vaezi, K., & Asadpour, G. (2021). Preparation and characterization of the cellulose nanocrystal properties from recycled papers and its application as a reinforcement agent in the hydroxypropyl methyl cellulose/cationic starch nanocomposite for use in food packaging industries. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, *36*(3), 243-255. https://doi.org/10.22092/ijwpr.2021.354193.1674

[12] Rezayati Charani, P., Moradian, M. H., & Saadatnia, M. A. (2018). Sequence analysis using cellulose nanofibers, cationic starch and polyacrylamide in the paper tensile strength. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, *25*(3), 73-86. https://doi.org/10.22069/jwfst.2018.14657.1730

[13] Irimia-Vladu, M. (2014). "Green" electronics: biodegradable and biocompatible materials and devices for sustainable future. *Chemical Society Reviews*, *43*(2), 588-610. https://doi.org/10.1039/C3CS60235D

[14] Sodifi, B., Nazarnezhad, N., & Sharifi, H. (2021). Investigation of barrier properties of the coated and treated papers with polycaprolactone/cellulose nanocrystals/ZnO nanoparticles. *Journal of food science and technology*, *17*(107), 91-105. https://doi.org/10.52547/fsct.17.107.91

[15] Tatari, A., & Shekarian, E. (2014). The importance of cellulosic derivatives in production of the biodegradable films for food packaging applications. *Journal of Packaging Sciencd and Techniques*, *5*(19), 22-31. https://packaging.ihu.ac.ir/article_201371.html?lang=en

[16] Guillaume, C., Pinte, J., Gontard, N., & Gastaldi, E. (2010). Wheat gluten-coated papers 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

[17] He, Y., Li, H., Fei, X., & Peng, L. (2021). Carboxymethyl cellulose/cellulose nanocrystals immobilized silver nanoparticles as an effective coating to improve barrier and antibacterial properties of paper for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, *252*, 117156. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117156

[18] Nechita, P., & Roman , M. (2020). Review on Polysaccharides Used in Coatings for Food Packaging Papers. *Coatings*, *10*(6), 566. https://doi.org/10.3390/coatings10060566

[19] Santos, F. K. G. D., Silva, K. N. D. O., Xavier, T. D. N., Leite, R. H. D. L., & Aroucha, E. M. M. (2017). Effect of the addition of carnauba wax on physicochemical properties of chitosan films. *Materials Research*, *20*(Suppl 2), 479-484. https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-1010

[20] Pournasir, N., Peighambardoust, S. J., & Peighambardoust, S. H. (2016). Investigation of physical, mechanical and antibacterial properties of nanobiocomposite films based on starch containing metallic nanoparticles such as silver, zinc oxide and cooper oxide. *Innovative Food Technologies*, *4*(2), 17-32. https://doi.org/10.22104/jift.2016.386

[21] Armand, K., & Ghasemiyan, A. (2020). Effect of coating paper using chitosan and modified polylactic acid. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, *35*(4), 321-331. https://doi.org/10.22092/ijwpr.2020.342709.1607

[22] 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

[23] Asadi Khansari, R., & Dehghani Firouzabadi, M. (2014). Introduce of new paper and cardboard in food packaging. *Journal of packaging science and technology*, *4*(16), 46-57. https://packaging.ihu.ac.ir/article_201352.html

[24] Ghanbari, H., Ebrahimpour Kasmani, J., & Samariha, A. (2019). Improving Printing And Writing Paper Properties By Coating With Nanoclay Montmorillonite (K10). *Cellulose Chemistry and Technology*, *53*(3-4), 395-403. https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2019.53.40

[25] Ebrahimpour Kasmani, J., Mahdavi, S., Samariha, A., & Nemati, M. (2013). Mechanical Strength and Optical Properties of LWC Wood-Containing Paper. *BioResources*, *8*(4), 6472-6480. https://doi.org/10.15376/biores.8.4.6472-6480