Scientific Journal of Packaging Science and Art
Vol. 14, No. 2, Summer 2023, Serial No. 54
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

Investigating the Effect of Using Biodegradable Surface Coatings on Water Absorption and Mechanical Properties of White Paper Used in Cold Environments

Jafar Ebrahimpour Kasmani *, Ahmad Samariha, Dariush khademi Shurmasti

*Associate Professor, Department of Wood and Paper Science & Technology, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

(Received: 02/01/2023, Revised: 07/03/2023, Accepted: 21/05/2023, Published: 23/07/2023)

DOR: 20.1001.1.22286675.1402.14.54.1.7

ABSTRACT

This research was conducted with the aim of investigating the effect of using biodegradable nanostructure coatings on water absorption and other physical and mechanical properties of white paper used in cold environments. For this purpose, 127 g/m^2 white paper was prepared and tested. First, the liners were mounted on a plywood. After applying the coating and preparing several samples, papers with the same coating weight were selected for testing. Due to the impossibility of exact coverage amount, liners with a coverage of about 15 g/m^2 were used for the next tests. After the application, the coated papers were dried at room temperature. Then the samples were placed in the refrigerator for 2 and 4 months. Before the test, the control and coated samples were placed in standard environmental conditions (temperature 20 ^{o}C and relative humidity 65%). The results showed that the water absorption of the samples decreased after coating. The reason for this is that the coating solution used has penetrated the pores of the paper and caused the diameter of the pores to decrease, as a result, the speed of water passing through the pores of the paper has decreased. In coated and frozen samples, an increase in thickness and a decrease in surface smoothness and resistance properties have been observed compared to unfrozen control samples.

Keywords: Coating, Water Absorption, Mechanical Properties, White Paper, Cold Environments

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: Jafar_kasmani@yahoo.com

نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال چهاردهم، شماره ۵۴، تابستان ۱۴۰۲؛ ص ۷-۱

شاپای چاپی: ۲۲۲۸-۶۶۷۵| شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۷۸۲۴

علمی – پژوهشی

بررسی اثر استفاده از پوشش‌های سطحی زیست‌تخریب‌پذیر روی جذب آب و ویژگی‌های مکانیکی کاغذ سفید مورد استفاده در محیط‌های سرد

جعفر ابراهیم‌پور کاسمانی[1*]، احمد ثمریها[2]، داریوش خادمی شورمستی[3]

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 ۳- استادیار، گروه کشاورزی، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

DOR: 20.1001.1.22286675.1402.14.54.1.7

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۵/۰۱

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر استفاده از پوشش‌های نانو ساختار زیست‌تخریب‌پذیر روی جذب آب و دیگر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ سفیدی که در محیط‌های سرد مورداستفاده قرار می‌گیرد، انجام شد. برای این منظور کاغذ سفید ۱۲۷ گرمی تهیه و مورد آزمون قرار گرفت. ابتدا کاغذها روی یک تخته لایه مهار شدند. پس از اعمال پوشش و تهیه نمونه‌های متعدد برای انجام آزمایش کاغذهایی با وزن پوشش یکسان انتخاب شدند. با توجه به عدم امکان دقیق مقدار پوشش‌دهی، از کاغذهایی با پوشش حدود ۱۵ گرم بر مترمربع برای آزمون‌های بعدی استفاده شد. بعد از اعمال، کاغذهای پوشش داده شده در دمای محیط خشک شدند. سپس نمونه‌ها در داخل فریزر به مدت ۲ و ۴ ماه قرار گرفتند. قبل از آزمون، نمونه‌های شاهد و پوشش داده شده در شرایط محیطی استاندارد (دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۶۵٪) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که جذب آب نمونه‌ها بعد از پوشش‌دهی، کاهش یافته است. علت این امر این است که محلول پوشش به کار رفته در منافذ کاغذ نفوذ کرده و سبب کاهش قطر منافذ گشته است، در نتیجه سرعت عبور آب در منافذ کاغذ کاهش یافته است. در نمونه‌های پوشش‌دهی و فریز شده، افزایش ضخامت و کاهش صافی سطح و خواص مقاومتی نسبت به نمونه‌های شاهد فریز نشده، مشاهده شده است.

کلیدواژه‌ها: پوشش‌دهی، جذب آب، خواص مکانیکی، کاغذ سفید، محیط‌های سرد

۱- مقدمه

بسته‌بندی مواد غذایی جهت حفاظت از گرما، نور، رطوبت، اکسیژن، میکروارگانیسم‌ها، حشرات و گردوخاک توسعه پیدا کرده است [۱]. به‌طور کلی بازیافت تمامی مواد مصرفی؛ مانند پلاستیک، فلز، شیشه، کاغذ و مقوا بهترین راه برای حفاظت درست از این منابع است. با انجام بازیافت این مواد می‌توان فرصت‌های شغلی جدید و سودآوری اقتصادی ایجاد نمود. نقش کاغذ تنها محدود به ذخیره و انتقال دانش نمی‌باشد، بلکه کاربردهای مهمی نظیر صنایع بسته‌بندی دارد. کاغذ همانند دیگر مواد اولیه مورد استفاده در صنایع بسته‌بندی دارای مزایا و معایبی است که مجموعاً تعیین کننده دامنه کاربرد آن در زمینه بسته‌بندی به‌ویژه بسته‌بندی مواد غذایی است. در حال حاضر زندگی مدرن و شهری در حال گسترش و افزایش است. این مسئله تأثیر مستقیمی بر افزایش انواع زباله‌ها از جمله زباله‌های مقوایی دارد. روند تولید مقوای بازیافتی فرایندی است که با استفاده از مواد اولیه ارزان قیمت صورت می‌گیرد و سودآوری زیادی دارد. از طرف دیگر تولید کارتن بازیافتی از ضایعات کاغذ و مقوا، تأثیر زیادی در کاهش مصرف انرژی دارد. از نظر حمل‌ونقل، مقوا نیز بسیار بادوام است و به‌عنوان بهترین ماده برای بسته‌بندی در امر تجارت کاربرد دارد که بسته‌بندی مقوایی به جلوگیری از نفوذ رطوبت به محصول کمک شایانی می‌کند؛ بنابراین مقوا یک عامل ضروری برای محصولاتی که نیاز به تحمل زمان حمل‌ونقل طولانی و همچنین محافظت از محصولات غذایی دارند، می‌باشد. فایده و اهمیت بازیافت کاغذ و مقوا به سودآوری اقتصادی آن خلاصه نمی‌شود و صرفاً نمی‌توان جنبه‌های اقتصادی و سودآوری تولید کارتن بازیافتی را در نظر گرفت [۲]. بلکه یکی از مهم‌ترین فواید فرایند بازیافت زباله‌های کاغذی، حفظ محیط‌زیست از آلودگی‌های جدید است. در بحث بسته‌بندی دو فاکتور اهمیت دارد یکی بحث نفوذپذیری و دیگری مهاجرت است. نفوذپذیری یعنی بسته‌بندی شرایطی فراهم کند که از محیط خارج رطوبت، آب و گاز نگیرد و از داخل به خارج نرود و مورد دوم نیز یعنی

* رایانامه نویسنده مسئول: jafar_kasmani@yahoo.com

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

خود بسته‌بندی به مواد غذایی چیزی منتقل نکند. سفارش جعبه مقوا بسته‌بندی به‌خصوص برای میوه‌جات و محصولاتی که نیاز به نگهداری در سردخانه دارند برای صادرکنندگان این محصولات اهمیت ویژه‌ای دارد. گاهی اوقات پیش آمده که در اثر عدم طراحی صحیح از نظر کیفیت، مقاومت و ترکیب جعبه در مقابل رطوبت و فشار و حتی دما، باعث ایجاد خسارت شده است. در صورت وجود رطوبت، الیاف رطوبت را به خود جذب می‌نمایند. همچنین پیوند میان الیاف سست‌تر می‌شود. در رطوبت‌های بسیار بالا، الیاف و لایه‌های کاغذ و مقوا از هم جدا و متلاشی می‌شوند. رطوبت، مهم‌ترین عامل محیطی مخرب مقوا به شمار می‌رود. برخی مواد غذایی را برای جلوگیری از خراب شدنشان در سردخانه می‌گذارند و برای اینکه تازه‌تر بمانند و دچار کپک زدگی نشوند آنها را در بسته‌بندی مقوایی قرار می‌دهند [۳].

پوشش‌های پلیمری زیستی روی کاغذ بسته‌بندی مواد، انتقال اضافی رطوبت را در محصولات غذایی به تأخیر می‌اندازد، قابلیت تشکیل فیلم را دارند و مانع خوبی برای نفوذ آب، روغن و اکسیژن هستند. از طرفی قابل تجزیه در طبیعت بوده و توانایی جایگزینی پوشش‌های مصنوعی متداول کاغذ را دارا می‌باشد. همچنین افزودن مواد ضد میکروبی در پوشش‌ها برای تولید مواد بسته‌بندی کاغذی فعال، یک امکان جالب برای محافظت غذا از گسترش و توسعه میکروارگانیسم‌ها ایجاد می‌کند [۴]. سلولز بر پایه کاغذ و مقوا به دلیل قابلیت تجدیدپذیری‌شان، قابلیت بازیافتشان و قابلیت زیست تخریب بودنشان مواد بسته‌بندی سبز هستند. با این حال قبل از کاربردهای آن در صنعت بسته‌بندی کاغذ لازم است با مواد مختلفی مانند پلی‌اتیلن و... پوشش داده شود تا خواص ممانعت به آب یا بخار آب را بهبود ببخشد. اثر این پلیمرهای مشتق شده هم برای بازیافت و هم برای تخریب دارای مشکل می‌باشد؛ بنابراین امروزه آنها به‌تدریج با مواد زیستی در بسته‌بندی‌های کاغذی صنعتی برای پوشش‌دهی سطح جایگزین شده‌اند [۵]. استفاده از پلیمرهای زیستی و تجدیدشدنی به‌عنوان مواد پوشش‌دهی کاغذ، دارای مزیت‌های فراوانی است. این مواد جایگزینی مناسب برای مواد پلاستیکی مثل پلی‌اتیلن می‌باشند، چون قابلیت بازیافت دارند و اگر در محیط قرار بگیرند به‌آسانی تجزیه می‌شوند. استفاده از این پلیمرها باعث بهبود ویژگی‌های ممانعتی کاغذ مثل غیر قابل نفوذ بودن در برابر گازها، روغن و آب می‌شود [۶]؛ همچنین از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه می‌باشد. هریک از پلیمرهای زیستی سبب بهبود ویژگی‌های خاصی در کاغذ می‌گردند. استفاده از این پلیمرها به دلیل قابل بازیافت بودن و در نتیجه استفاده مجدد از کاغذها و مقواها باعث می‌شود نیاز کشور به واردات کاهش یابد.

بنابراین، از آنجایی که کاغذهای بسته‌بندی به‌آسانی آب را از محیط یا از مواد غذایی جذب می‌کنند و مقاومت فیزیکی و مکانیکی خود را از دست می‌دهند و استفاده از کارتن را در صنایع بسته‌بندی محصولات سردخانه‌ای (مثل صادرات میوه) و فریزری (مثل میگو و ماهی) در کشور، دچار محدودیت می‌کنند، در این تحقیق به دنبال آن هستیم با به‌کارگیری پوشش‌های سطحی زیست تخریب‌پذیر به‌صورت پوششی بر روی سطح کاغذ سفید، مقدار جذب آب این کاغذ کاهش یافته و مقاومت‌های آن در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گیرند.

۲- روش تحقیق

۲-۱- کاغذ پایه

در این تحقیق کاغذ سفید با وزن پایه ۱۲۷ گرم بر مترمربع استفاده شد.

۲-۲- نانو پلی‌اورتان

نانو پلی‌اورتان مورد استفاده از یک شرکت دانش‌بنیان تهیه شد (جدول ۱).

جدول (۱): مشخصات نانو پلی‌اورتان

شکل ظاهری	مایع زرد روشن
نوع	خود اتصال عرضی
خاصیت امولسیونی	آنیونیک
درصد مواد جامد	٪۳۳
ویسکوزیته	mPa.s ۳۷۸

۲-۳- اندود کاغذ پایه

ابتدا کاغذها روی یک‌تخته لایه مهار شدند. لازم به ذکر است به علت عدم دسترسی به فیلم کش استاندارد، وزن پایه مطلوب به‌صورت تجربی کنترل شد، یعنی پس از اعمال پوشش و تهیه نمونه‌های متعدد برای انجام آزمایش کاغذهایی با وزن پوشش یکسان انتخاب شدند. با توجه به عدم امکان دقیق مقدار پوشش‌دهی، از کاغذهایی با پوشش حدود ۱۵ گرم بر مترمربع برای آزمون‌ها استفاده شد. علاوه بر این، با توجه به لایه پوشش نسبتاً سنگین و یکنواخت اعمال شده از عدم وجود هرگونه معایب نظیر سوراخ‌های ریز اطمینان حاصل شد. بعد از اعمال، کاغذهای پوشش داده شده در دمای محیط خشک شدند. شرایط دما و رطوبت اتاق به‌وسیله دماسنج و رطوبت‌سنج دیجیتال با مقادیر دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۴ درصد، ثبت گردید. سپس نمونه‌ها در داخل یخچال و فریزر به مدت ۲ و ۴ ماه قرار گرفته و در ادامه خواص آنها اندازه‌گیری شد. کدها و درصد ترکیبات اندود و تیمارها در جدول(۲) خلاصه شده است.

جدول (۲): کدها و شرایط تیمارها

ردیف	کد	توضیحات
۱	W_0	نمونه شاهد
۲	W_2	نمونه شاهد ۲ ماه فریز شده
۳	W_4	نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده
۴	C_{10}	نمونه پوشش شده
۵	C_{12}	نمونه پوشش شده و ۲ ماه فریز شده
۶	C_{14}	نمونه پوشش شده و ۴ ماه فریز شده

۲-۴- اندازه‌گیری خواص کاغذ

خواص فیزیکی شامل ضخامت (T411-Om89)، جذب آب (T441 om-96)، صافی سطح (T555om-04)، خواص مکانیکی شامل شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عمود ماشین و جهت ماشین (T404-Om92)، شاخص ترکیدن (T 403 om-02)، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین و در جهت عمود ماشین (T404om-04)، شاخص مقاومت در برابر له‌شدن در جهت ماشین (T818 cm-97) و روشنی (T403-Om91) کاغذهای ساخته شده مطابق با استانداردهای TAPPI اندازه‌گیری شد.

۲-۵- مطالعات میکروسکوپی

تصاویر میکروسکوپی در پژوهشگاه متالوژی رازی از سطح نمونه‌های شاهد و پوشش داده شده به‌وسیله دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی مدل Mira 3-XMU انجام گردید. این میکروسکوپ جدیدترین و پیشرفته‌ترین دستگاه FESEM موجود در ایران است.

۲-۶- 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 تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از تجزیه واریانس یک‌طرفه و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

۳- نتایج

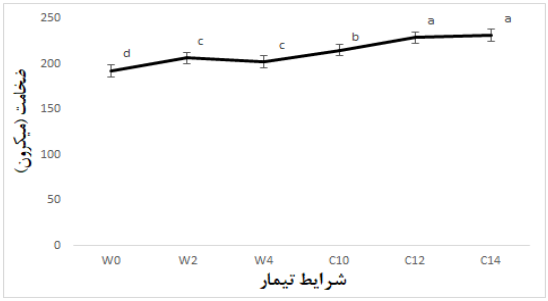
برای بررسی اختلاف آماری بین میانگین خواص مورد بررسی، از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد. مقدار F به دست آمده از این آزمون و سطح معنی‌داری در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳): تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی‌داری) اثر متغیرهای ساخت بر مقاومت‌ها

ویژگی	متغیرها
ضخامت (µ)	۹۵/۹۵۷*
جذب آب (g/m^2)	۶۷۴۲۱۸۰۳۵۷۵/۰*
صافی سطح (S)	۹/۶۵۷*
شاخص مقاومت در برابر ترکیدن ($KPam^2/g$)	۵۱/۵۸۷*
شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین (Nm^2/g)	۱۹۶/۵۲۷*
شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عمود ماشین (Nm^2/g)	۱۲۳/۶۴۱*
شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین (mKN/m)	۴۹/۶۴۹*
شاخص مقاومت در برابر کشش در عمود ماشین (mKN/m)	۱۹/۳۴۴*
مقاومت در له‌شدن در برابر له‌شدن حلقه در جهت ماشین KN/m	۴/۶۶۳*
روشنی (٪)	۲۳/۱۸۹*
در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است.	

۳-۱- ضخامت کاغذ

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر ضخامت ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر ضخامت در کلیه تیمارها در چهار گروه قرار داشته است. شکل (۱) میانگین تغییرات ضخامت را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.



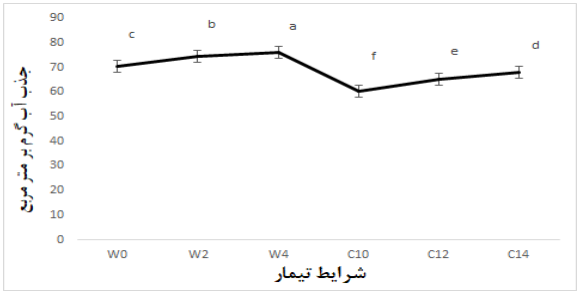
شکل (۱): مقایسه میانگین ضخامت کاغذهای مختلف

شکل(۱) نشان می‌دهد که بیشترین میزان ضخامت مربوط به کاغذ سفید پوشش داده شده و ۴ ماه فریز است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد است.

۳-۲- جذب آب

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر جذب آب ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر جذب آب در کلیه تیمارها در شش

گروه قرار داشته است. شکل (۲) میانگین تغییرات جذب آب را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.

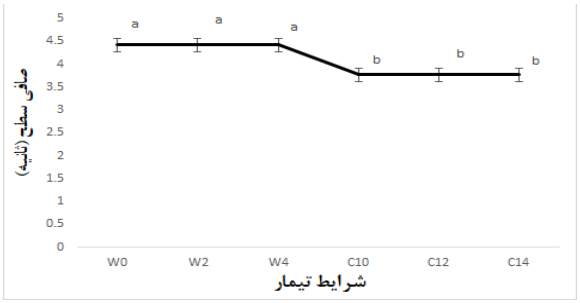


شکل (۲): مقایسه میانگین جذب آب کاغذهای مختلف

شکل (۲) نشان می‌دهد که کمترین میزان جذب آب مربوط به کاغذ سفید پوشش داده شده است و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه‌های شاهد ۴ ماه فریز شده است.

۳-۳- صافی سطح

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر صافی سطح ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر صافی سطح در کلیه تیمارها در دو گروه قرار داشته است. شکل (۳) میانگین تغییرات صافی سطح را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.

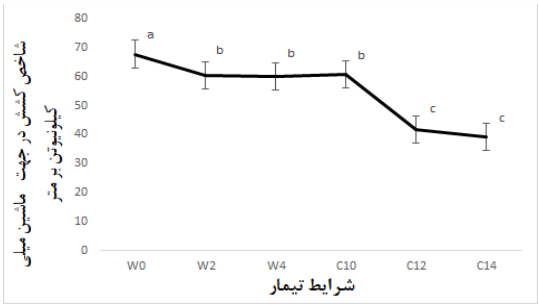


شکل (۳): مقایسه میانگین صافی کاغذهای مختلف

شکل (۳) نشان می‌دهد که بیشترین میزان صافی سطح مربوط به کاغذ سفید شاهد است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های کاغذ سفید پوشش داده شده و فریز شده است.

۳-۴- شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین در کلیه تیمارها در سه گروه قرار داشته است. شکل (۴) میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.

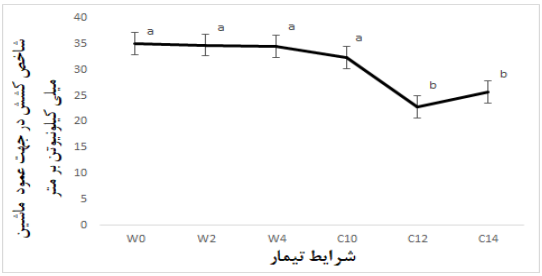


شکل (۴): مقایسه میانگین شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین کاغذهای مختلف

شکل (۴) نشان می‌دهد که بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین مربوط به نمونه شاهد است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد پوشش داده شده و ۴ ماه فریز شده است.

۳-۵- شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عمود ماشین

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت در کشش در جهت عمود ماشین ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر شاخص کشش در جهت عمود ماشین در کلیه تیمارها در دو گروه قرار داشته است. شکل (۵) میانگین تغییرات شاخص مقاومت در کشش در جهت عمود ماشین را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.



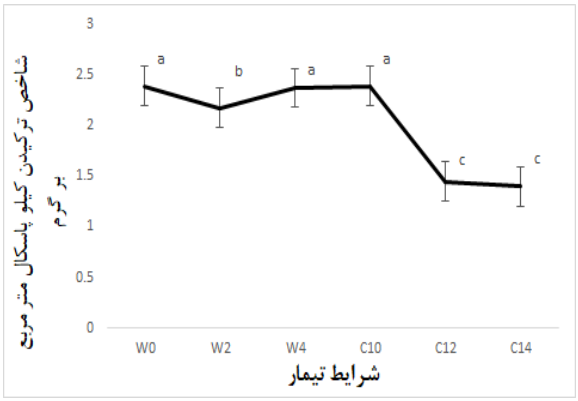
شکل (۵): مقایسه میانگین شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عمود ماشین کاغذهای مختلف

شکل (۵) نشان می‌دهد که بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عمود ماشین مربوط به نمونه شاهد است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه پوشش داده شده و ۲ ماه فریز شده است.

۳-۶- شاخص مقاومت در برابر ترکیدن

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت در برابر ترکیدن ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر شاخص مقاومت

در برابر ترکیدن در کلیه تیمارها در سه گروه قرار داشته است. شکل (۶) میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر ترکیدن را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.

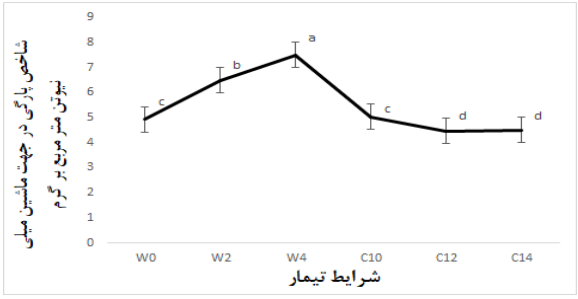


شکل (۶): مقایسه میانگین شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای مختلف

شکل (۶) نشان می‌دهد که بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر ترکیدن مربوط به نمونه شاهد است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های کاغذ سفید پوشش داده شده و ۴ ماه فریز شده است.

۳-۷- شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین در کلیه تیمارها در چهار گروه قرار داشته است. شکل(۷) میانگین تغییرات شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.

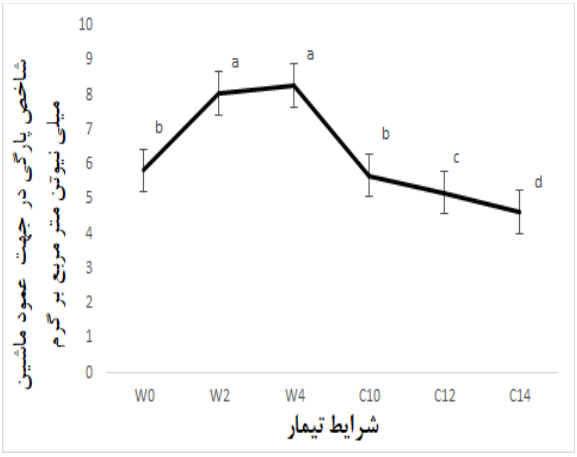


شکل (۷): مقایسه میانگین شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین کاغذهای مختلف

شکل(۷) نشان می‌دهد که بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین مربوط به نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه پوشش داده شده و ۴ ماه فریز شده است.

۳-۸- شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عمود ماشین

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت در پاره شدن در جهت عمود ماشین ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر شاخص پاره شدن در جهت عمود ماشین در کلیه تیمارها در چهار گروه قرار داشته است. شکل (۸) میانگین تغییرات پاره شدن در جهت عمود ماشین را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.

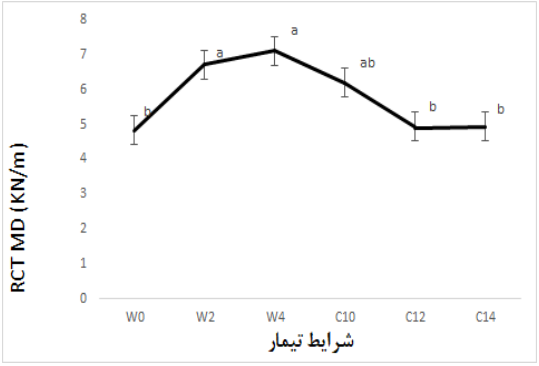


شکل (۸): مقایسه میانگین شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عمود ماشین کاغذهای مختلف

شکل(۸) نشان می‌دهد که بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عمود ماشین مربوط به نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه پوشش داده شده و ۴ ماه فریز شده است.

۳-۹- مقاومت در له شدن در برابر حلقه در جهت ماشین

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر مقاومت در له‌شدن در برابر حلقه در جهت ماشین ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر شاخص کشش در جهت عمود ماشین در کلیه تیمارها در دو گروه قرار داشته است. شکل (۹) میانگین تغییرات مقاومت در له‌شدن در برابر حلقه در جهت ماشین را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.

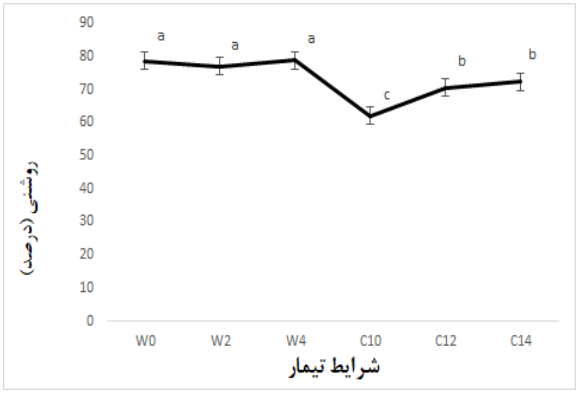


شکل (۹): مقایسه میانگین مقاومت در لهشدن در برابر حلقه در جهت ماشین کاغذهای مختلف

شکل (۹) نشان می‌دهد که بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر حلقه در جهت ماشین مربوط به نمونه شاهد ۴ ماه فریز است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد است.

۳-۱۰- روشنی

آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مقادیر روشنی ۶ نوع کاغذ مورد آزمون در سطح احتمال ۵٪ از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود دارد و مقادیر روشنی در کلیه تیمارها در سه گروه قرار داشته است. شکل (۱۰) میانگین تغییرات روشنی را برای ۶ نوع کاغذ را نشان می‌دهد.

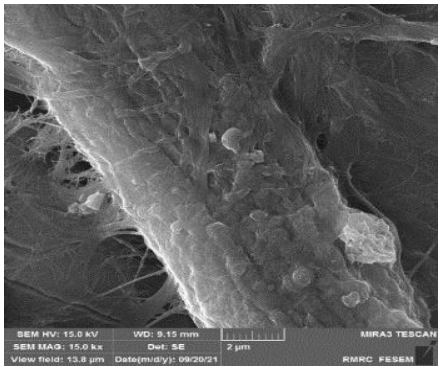


شکل (۱۰): مقایسه میانگین روشنی کاغذهای مختلف

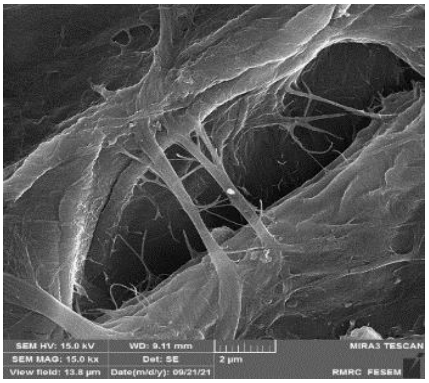
شکل (۱۰) نشان می‌دهد که بیشترین میزان روشنی مربوط به نمونه شاهد ۴ ماه فریز شده است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه پوشش داده شده است.

۳-۱۱- مطالعات میکروسکوپی ساختار کاغذ (FE-SEM)

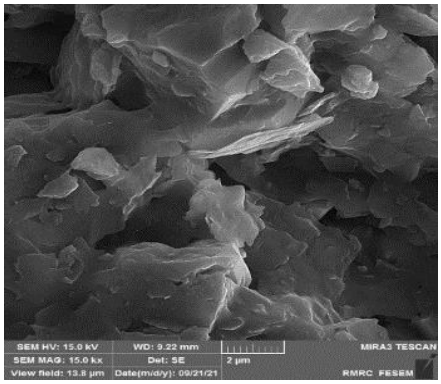
شکل (۱۱) ریزنگار میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FE-SEM) برای سطوح کاغذ سفید شاهد (۱۱ الف)، کاغذ سفید شاهد (۴ ماه فریز) (۱۱ ب)، کاغذ سفید پوشش داده شده (۱۱ ج)، کاغذ سفید پوشش داده شده (۴ ماه فریز) (۱۱ د) را نشان می‌دهد. کاغذهای بدون تیمار نشان داد که دارای منافذ بوده؛ ولی نمونه‌های پوشش داده شده منافذ بسیار کمی را نشان داد.



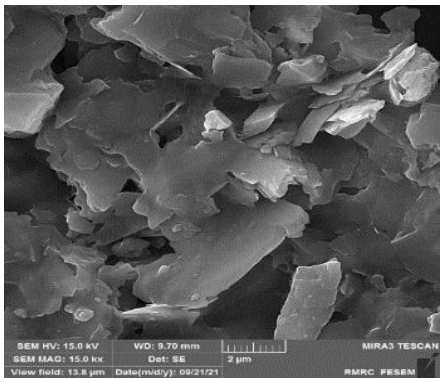
الف



ب



ج



د

شکل (۱۱): سطوح کاغذ سفید شاهد (الف)، کاغذ سفید شاهد (۴ ماه فریز) (ب)، کاغذ سفید پوشش داده شده (ج)، کاغذ سفید پوشش داده شده (۴ ماه فریز) (د)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که مشاهده می‌شود، فرایند پوشش‌دهی منجر به افزایش ضخامت در مقایسه با نمونه فاقد پوشش به‌عنوان کنترل می‌گردد که می‌تواند بیانگر کارائی فرمولاسیون مواد پوششی تلقی گردد.

میزان جذب آب کاغذ یا همان آزمون کاب، به مقدار آب جذب شده در یک‌زمان مشخص در یک طرف از کاغذ که زیر یک سانتی‌متر آب قرار گرفته است اطلاق می‌شود که به‌صورت ۶۰ گرم بر سانتی‌متر مربع محاسبه می‌شود برای بسیاری از مصارف، مقاومت به نفوذ آب مایع یک ویژگی مهم به شمار می‌آید. بیشترین جذب آب در نمونه شاهد چهار ماه فریز و کمترین جذب آب در نمونه پوشش داده، مشاهده می‌شود. در آزمون جذب آب مقدار آبی که توسط سطح معینی از کاغذ در یک فاصله زمانی مشخص جذب می‌شود، اندازه‌گیری می‌گردد. کاغذ سبب کاهش کاب کاغذ شد. درحالی‌که تحقیق Asadi Khansari و همکاران (۲۰۱۵) مقادیر جذب آب افزایش یافت که احتمالاً مربوط به روش پوشش‌دهی می‌باشد [۷].

یکی از اساسی‌ترین ویژگی‌های مقوای بسته‌بندی، مقاومت کششی و ترکیدن است. این مقاومت‌ها به اتصال بین الیاف و پیوندهای بین آنها بستگی دارد [۸]. کاهش این مقاومت‌ها ممکن است به دلیل پایین‌بودن مقاومت پوشش استفاده شده نسبت به کاغذ پایه، نفوذ ماده پوششی به ساختار کاغذ پایه و اختلال در اتصال بین الیاف باشد. این کاهش در مقاومت کششی با نتایج مطالعات سایر محققین مطابقت دارد [۹ و ۱۰]. در هر دو تحقیق، اعمال پوشش سبب کاهش مقاومت شده است.

مقاومت کاغذ در برابر پاره شدن بیش‌تر وابسته به دو عامل اصلی است: ۱- اتصال بین الیاف و ۲- مقاومت ذاتی الیاف. اتصال بین الیاف، وابسته به سطح تماس بین الیاف در کاغذ و ترکیبات موجود در خمیرکاغذ است [۱۱]، اما در مورد مقاومت ذاتی الیاف، وضع به گونه دیگری خواهد بود، مقاومت ذاتی الیاف، مقاومت یک فیبر به‌تنهایی می‌باشد و بسته به نوع ماده اولیه مصرفی متفاوت است. به طوری که با افزایش ضخامت دیواره و قطر الیاف افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد کاهش مقاومت به پارگی، به علت کم‌شدن اتصالات بین الیاف بوده است. به عبارتی محلول پوشش بکار رفته علاوه بر پر کردن منافذ سطح کاغذ، در اتصالات بین الیاف نیز نفوذ کرده و باعث کاهش تعداد اتصالات شده و در نتیجه مقاومت به پارگی نیز کاهش یافته است.

ساختار میکروسکوپ الکترونی نشان داد در نمونه‌های پوشش داده شده منافذ و حفرات بین الیاف کاملاً پوشیده شده و پوشاندن این حفرات باعث یکنواختی و افزایش کیفیت چاپ خواهد شد. همچنین مشابه سایر عکس‌ها بخش‌های تیره فضای خالی بین ذرات است.

استفاده از پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان مواد پوشش‌دهی مقوای بسته‌بندی محصولات سردخانه‌ای دارای مزیت‌های فراوانی است. این پوشش‌ها جایگزین مناسبی برای مواد پلاستیکی مثل پلی‌اتیلن می‌باشد، چون قابلیت بازیافت دارد و اگر در محیط قرار بگیرد به‌آسانی تجزیه می‌شود. از طرفی، استفاده از این پوشش‌ها باعث بهبود ویژگی‌های ممانعتی کاغذ مثل غیر قابل نفوذ بودن در برابر آب می‌شود.

۵- مراجع

[1] M. Rajabi and A. Saber, "A Review of the Fruit and Plant Processing Waste Usage for the Production of Food Films and Coatings in the Packaging Industry," J. Packag. Sci. Tech., vol. 13(50), pp 51-60, 2022. (In Persian)

[2] A. Ferrer, L Pal, and M Hubbe, "Nanocellulose in packaging: Advances in barrier layer technologies," Ind Crops Prod, vol. 95, pp 574-582, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.012

[3] R. Asadi khansari and M. Dehghani Firouzabadi, "Introduce of new paper and cardboard in food packaging," J. Packag. Sci. Tech., vol. 16(4), pp. 46-57, 2013. (In Persian)

[4] V. K. Rastogi and P. Samyn, "Bio-based coatings for paper applications," Coatings, vol. 5(4), pp. 887-930. 2015. DOI: https://doi.org/10.3390/coatings 5040887

[5] I. J. Zvonkina, P. Gkountara, M. Hilt, and M. Franz, "New printing inks with barrier performance for packaging applications: Design and investigation," Progress in Organic Coatings, vol. 77(3), pp. 646-656. 2014.

[6] B. Sodifi, N. nazarnezhad, and H. Sharifi, "Investigation of barrier properties of the coated and treated papers with polycaprolactone/cellulose nanocrystals/ZnO nanoparticles," J. Food Sci. Technol, vol 17(107) pp 91-105. 2021. DOI: 10.52547/fsct.17.107.91

[7] R. Asadi Khansari, M. Dehghani Firouzabadi, and H. Resalati, "The effect of biodegradable coatings on the barrier properties of papers," Iranian Journal of Wood and Paper Industries, vol. 7(1) pp. 91-101, 2015. (In Persian)

[8] D. Sanchez Aldana, E. Duarte Villa, M. De Dios Hernández, G. González Sánchez, Q. Rascon Cruz, S. Flores Gallardo, and L. Ballinas Casarrubias, "Barrier properties of polylactic acid in cellulose based packages using montmorillonite as filler," Polymers, vol. 6(9), pp. 2386-2403. 2014. DOI: https://doi.org/10.3390/polym6092386

[9] P. Tyagi, K. S. Salem, M. Hubbe, and L. Pal, "Advances in barrier coatings and film technologies for achieving sustainable packaging of food products–a review," Trends Food Sci Technol, vol. 115, pp. 461-485, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.036

[10] H. Shi, L. Wu, Y. Luo, F. Yu, and H. Li, "A facile method to prepare cellulose fiber-based food packaging papers with improved mechanical strength, enhanced barrier, and antibacterial properties," Food Biosci, vol. 48, 101729, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101729

[11] H. Aloui, K. Khwaldia, M. B. Slama, and M. Hamdi, "Effect of glycerol and coating weight on functional properties of biopolymer-coated paper," Carbohydrate polymers, vol. 86(2), pp. 1063-1072, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.026