

## بررسی تأثیر نگهداری در فریزر مقوای روکش پوشش داده شده با دو لایه نانو پلی اورتان و نانورس بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی آن

جعفر ابراهیم پور کاسمانی<sup>۱\*</sup>، احمد ثمریها<sup>۲</sup> و علیرضا خاکی فیروز<sup>۳</sup>

\*- 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 فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

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

تاریخ دریافت: بهمن ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: فروردین ۱۴۰۲

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر پوشش دو لایه‌ای نانو پلی اورتان و نانورس روی خواص فیزیکی و مکانیکی مقوای روکش قهوه‌ای بسته‌بندی مواد انجام شد. برای این منظور، مقوای روکش قهوه‌ای ۱۲۷ گرم بر مترمربع تهیه و آزمایش گردید. برای اندود سطح مقوا، ابتدا از نانو پلی اورتان با روش پاشش توسط یک نازل آغشته‌سازی استفاده شد. سپس سطح مقوای روکش قهوه‌ای، با نانو رس برای بهبود عملکرد ماده پوششی تیمار اول، پوشش داده شد. این ماده پوششی توسط یک دستگاه پوشش‌دهنده آزمایشگاهی (بارکوتر) اعمال شد. مقوای پوشش داده شده با مهار شدن، در دمای اتاق به مدت یک روز خشک شد تا ماده پوششی بر سطح آن تثبیت شود. سپس نمونه‌ها در داخل فریزر به مدت ۲ و ۴ ماه قرار گرفته و خواص آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که پوشش‌دهی باعث کاهش جذب آب شد. در نمونه‌های پوشش‌دهی و فریز شده، افزایش ضخامت، صافی سطح و کاهش جذب آب و خواص مقاومتی نسبت به نمونه‌های شاهد فریز نشده، مشاهده شده است. نمونه‌های دو بار پوشش‌دهی شده منافذ بسیار کمی را نشان داد. ضخامت، صافی سطح و مقاومت در برابر پاره‌شدن در جهت عرض ماشین مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۱۳/۷، ۷۵ و ۳/۸ درصد افزایش را نشان داد. جذب آب، مقاومت در برابر ترک‌خوردن، مقاومت در برابر پاره‌شدن در جهت ماشین، مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین، مقاومت در برابر کشش در جهت عرض ماشین، مقاومت له‌شدن در برابر حلقه در جهت ماشین و مقاومت له‌شدن در برابر حلقه در جهت عرض ماشین مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد به ترتیب ۱۰۷، ۲۰، ۱/۵، ۳۴/۳، ۲۵/۴، ۲۴/۳ و ۴/۷ درصد کاهش را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: پوشش‌دهی، فریز کردن، خواص فیزیکی، مکانیکی، رویه قهوه‌ای، محصولات سردخانه‌ای.

### مقدمه

برای بسته‌بندی محصولات پروتئینی با کارتن باید از کاغذ و موادی استفاده کرد که علاوه بر استحکام فیزیکی مناسب، مقاومت در برابر جذب رطوبت داشته باشد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که کاغذ کرافت همانند انواع کاغذها به‌عنوان بستر، قابلیت تشکیل اتصال با پلیمرهای زیستی را

محصولات کاغذی به‌طور گسترده در بسته‌بندی مواد غذایی و غیر غذایی کاربرد دارند. باوجود این، جذب آب ضعیف کاغذ از ضعف‌های مهم این ماده ارزشمند برای این نوع کاربردها محسوب می‌شود (Moakhar et al., 2017).

## مواد و روش‌ها

### کاغذ پایه

در این تحقیق مقوای روکش قهوه‌ای با گراماژ ۱۲۷ گرم بر مترمربع از شرکت پیشگامان صنعت کاغذ تهیه شد. نانو پلی‌اورتان

محلول نانو پلی‌اورتان به رنگ زرد روشن و ۳۳ درصد مواد جامد با ویسکوزیته ۳۷۸ mPa.s و اندازه ذرات ۱۰ تا ۷۰ نانومتر از شرکت دانش‌بنیان مواد مهندسی مکرر تهیه شد. نانورس

از نانورس با نام تجاری Cloisite 30B ساخت شرکت Southern Clay کشور آمریکا استفاده شد. فاصله بین لایه‌ها در ذرات نانورس ۱۸/۵ آنگستروم بود. نانورس مورد استفاده از نوع مونت موریلونیت طبیعی است که با نمک آمونیوم اصلاح شده است. لاتکس

لاتکس استایرن بوتادی ان با نام تجاری NS-87 از شرکت سیماب رزین تهیه و برای پوشش‌دهی دوم استفاده گردید.

### پوشش‌دهی اول

ابتدا لایرها روی یک تخته لایه مهار و توسط یک پیستوله پوشش‌دهی انجام شد تا حد امکان سعی شد پوشش‌دهی به صورت یکنواخت انجام شود. با توجه به عدم امکان تعیین دقیق مقدار پوشش‌دهی، از لایرهایی با پوشش حدود ۱۵ گرم بر مترمربع (وزن پوشش اعمال شده ۱۵ گرم بر مترمربع) استفاده شد.

### پوشش‌دهی دوم

برای پوشش‌دهی دوم، ابتدا نانورس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد با آب مقطر مخلوط شد و بعد با افزودن لاتکس استایرن بوتادی ان و پراکنده‌ساز D200 شرکت سیماب رزین، به مدت ۲۰ دقیقه دوباره به همزده شد. برای پوشش لایه دوم از یک کوتر میله‌ای (وایر بار کوتر) استفاده شد. میزان پوشش دوم لایرها، بر اساس وزن حدود ۲۷ گرم بر مترمربع (وزن پوشش اعمال شده ۲۷ گرم بر مترمربع) انجام شد. بعد از پوشش‌دهی، نمونه‌ها

دارد (Wang & Jing, 2016). ساختار متخلخل الیاف سلولز می‌تواند خواص ممانعتی در برابر رطوبت را در کاغذ محدود کند، از این رو انتقال رطوبت در کاغذ می‌تواند به وسیله انتشار بخار آب از طریق فضاهای خالی و به شکل متراکم شده از طریق دیواره‌های سلولی الیاف اتفاق بیفتد (Ariete et al., 2011). از آنجایی که کاغذ و مقوا در زمره مواد آبدوست هستند، پس از قرار گرفتن در محیط‌هایی که رطوبت نسبی بالاست، رطوبت محیط را جذب می‌کنند و مقاومت‌های خود را تا حداکثر ۱۰٪ مقاومت‌های اولیه از دست می‌دهند (Moakhar et al., 2017). نشاسته یکی از زیست پلیمرهایی است که به دلایلی مانند زیست تخریب‌پذیری بالا، قیمت ارزان و سهولت آماده‌سازی و به‌عنوان پوشش‌دهنده، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است و به دلیل جرم مولکولی بالا روی سطح الیاف سلولزی با بار منفی باقی می‌ماند (Hubbe, 2020). با وجود این، نشاسته دارای معایبی است که استفاده از آن را در تولید فیلم و سایر مواد بسته‌بندی محدود می‌کند. این معایب عبارت از خاصیت آب‌دوستی شدید نشاسته است (Espitia, 2013). به دلیل وجود همه گروه‌های آبدوست در واحدهای گلوکز، الیاف سلولزی به‌طور طبیعی آبدوست هستند و به همین دلیل آب چه از محیط و چه از ماده غذایی می‌تواند به آسانی توسط بسته‌بندی‌های کاغذی جذب شود و این موضوع می‌تواند منجر به تغییر و کاهش خصوصیات فیزیکی و مکانیکی شود. فناوری‌های مختلفی برای ایجاد مقاومت در برابر جذب رطوبت و گاز در بسته‌بندی‌های مقوایی استفاده شده است، از جمله تیمارهای شیمیایی با نشاسته، موم، ترکیبات فلئوئوردار، پوشش‌دهی اکستروژنی پلیمر با استفاده از پلی‌اتیلن و لمینیت کردن موادی مانند آلومینیوم (Deisenroth et al., 1998). فرایند پوشش‌دهی سبب می‌شود تا حفره‌های موجود در سطح کاغذ پر شوند و یک لایه یکنواخت بر روی سطح کاغذ تشکیل شود. از این رو، پوشش‌دهی سطح کاغذ به‌عنوان یک سد ممانعتی در مقابل عبور هوا محسوب می‌شود (Samyn et al., 2010). این تحقیق با هدف بررسی تأثیر پوشش دو لایه‌ای نانو پلی‌اورتان و نانورس روی خواص فیزیکی و مکانیکی مقوای روکش قهوه‌ای بسته‌بندی مواد انجام شد.

در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۴ درصد ۴ ماه قرار گرفتند. کدها و درصد ترکیبات اندود و تیمارها به مدت یک روز خشک شدند. سپس نمونه‌ها در داخل فریزر با دمای حدود ۱۵- درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ و در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱- کدها و شرایط تیمارها

**Table 1- Codes and conditions of treatments**

ردیف No	کد code	توضیح Explanation
1	b <sub>0</sub>	مقوای روکش قهوه‌ای شاهد Control brown layer cardboard
2	b <sub>2</sub>	مقوای روکش قهوه‌ای شاهد (۲ ماه فریز) Control brown layer cardboard (freeze for 2 months)
3	b <sub>4</sub>	مقوای روکش قهوه‌ای شاهد (۴ ماه فریز) Control brown layer cardboard (freeze for 2 months)
4	b <sub>C20</sub>	مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش داده شده Double coated brown layer cardboard
5	b <sub>C22</sub>	مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش داده شده (۲ ماه فریز) Double coated brown layer cardboard (freeze for 2 months)
6	b <sub>C24</sub>	مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش داده شده (۴ ماه فریز) Double coated brown layer cardboard (freeze for 4 months)

جدول ۲- خواص مورد آزمون کاغذهای دست‌ساز

**Table 2. Properties to be tested on hansheet**

ردیف	ویژگی Property	استاندارد Standard
1	ضخامت Thickness	T411 om-89
2	جذب آب Water absorption	T441 om-96
3	صافی سطح Surface smoothness	T479 cm-21
4	شاخص مقاومت در برابر کشش Tensile strength index	T404 om-92
5	شاخص مقاومت در ترکیدن Burst index	T403 om-02
6	شاخص مقاومت در برابر پاره شدن Tear index	T404 om-04
7	شاخص مقاومت در برابر له شدن در جهت حلقه Ring crush test	T818 cm-97

میدانی مدل Mira 3-XMU انجام گردید.

### محاسبات آماری

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

### اندازه‌گیری خواص کاغذ

خواص فیزیکی و مکانیکی مورد بررسی کاغذهای مورد آزمون در جدول ۲ طبق استانداردهای TAPPI اندازه‌گیری و درج شده است.

### مطالعات میکروسکوپی

تصاویر میکروسکوپی در پژوهشگاه متالوژی رازی از سطح نمونه‌های شاهد و پوشش‌دهی شده با هدف مشاهده خلل و فرج به وسیله دستگاه میکروسکوپ الکترونی گسیل

جدول ۳- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی‌داری) اثر متغیرهای ساخت بر خواص فیزیکی و مکانیکی

Table 3- Analysis of variance (F value and significance level) of the effect of construction variables on physical and mechanical properties

متغیرها Variables	ویژگی Property
8904.156*	وزن پایه ( $\text{gm}^{-2}$ ) Grammage ( $\text{gm}^{-2}$ )
19.330*	ضخامت ( $\mu\text{m}$ ) (m) $\mu\text{Caliper}$
80807741.52*	جذب آب ( $\text{gm}^{-2}$ ) Water absorption ( $\text{gm}^{-2}$ )
3.416 <sup>ns</sup>	صافی سطح (Sec.) Surface smoothness (Sec.)
14.348*	شاخص مقاومت در برابر ترکیدن ( $\text{kPam}^2/\text{g}$ ) Burst strength index ( $\text{kPam}^2\text{g}^{-1}$ )
1.735 <sup>ns</sup>	شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین ( $\text{mN.m}^2\text{g}^{-1}$ ) Tear strength index in the machine direction ( $\text{mN.m}^2\text{g}^{-1}$ )
5.929*	شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرض ماشین ( $\text{mN.m}^2\text{g}^{-1}$ ) Tear strength index in the cross direction ( $\text{mN.m}^2\text{g}^{-1}$ )
9.636*	شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین ( $\text{mkN.mg}^{-1}$ ) Tensile strength index in the machine direction ( $\text{mkN.mg}^{-1}$ )
5.633*	شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عرض ماشین ( $\text{mkN.mg}^{-1}$ ) Tensile strength index in the cross direction ( $\text{mkN.mg}^{-1}$ )
10.467*	مقاومت در له شدن در برابر له شدن حلقه در جهت ماشین ( $\text{kNm}^{-1}$ ) Ring crush test in the machine direction ( $\text{kNm}^{-1}$ )
3.193*	مقاومت در له شدن در برابر له شدن حلقه در جهت عرض ماشین ( $\text{kNm}^{-1}$ ) Ring crush test in the cross direction ( $\text{kNm}^{-1}$ )

سطح معنی‌داری: \* ۹۵٪، ns: عدم معنی‌داری

\*: Significant at 95% confidence level, ns: non-significance

## نتایج

جدول ۳ آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (مقدار F و سطح معنی داری) اثر متغیرهای ساخت بر مقاومت‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود تمام ویژگی‌های مورد آزمون به استثنای صافی سطح و شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی دار هستند.

جدول ۴ میانگین تغییرات ضخامت، جذب آب، صافی سطح، شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین، شاخص مقاومت در کشش در جهت عرض ماشین، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین، شاخص مقاومت پاره شدن در جهت عرض ماشین، مقاومت به له شدن در برابر حلقه در جهت ماشین و مقاومت به له شدن در برابر حلقه جهت عرض ماشین را نشان می‌دهد.

مقادیر وزن پایه و مقادیر ضخامت در دو گروه قرار گرفت. بیشترین میزان ضخامت مربوط به مقوای روکش قهوه‌ای ۲ بار پوشش داده شده و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های شاهد ۲ ماه فریز شده است. مقادیر جذب آب در شش گروه قرار گرفت. کمترین میزان جذب آب مربوط به مقوای روکش قهوه‌ای ۲ بار پوشش داده شده است و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه‌های شاهد ۴ ماه فریز شده است. بیشترین میزان صافی سطح مربوط به مقوای روکش قهوه‌ای پوشش داده شده است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های شاهد است. مقادیر شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین در دو گروه قرار گرفت. بیشترین میزان این شاخص مربوط به تیمار شاهد و کمترین میزان آن متعلق به مقوای روکش قهوه‌ای پوشش داده شده و ۴ ماه فریز شده است. مقادیر شاخص مقاومت در برابر کشش جهت عرض ماشین در سه گروه قرار گرفت. بیشترین میزان این شاخص مقاومتی مربوط به نمونه شاهد

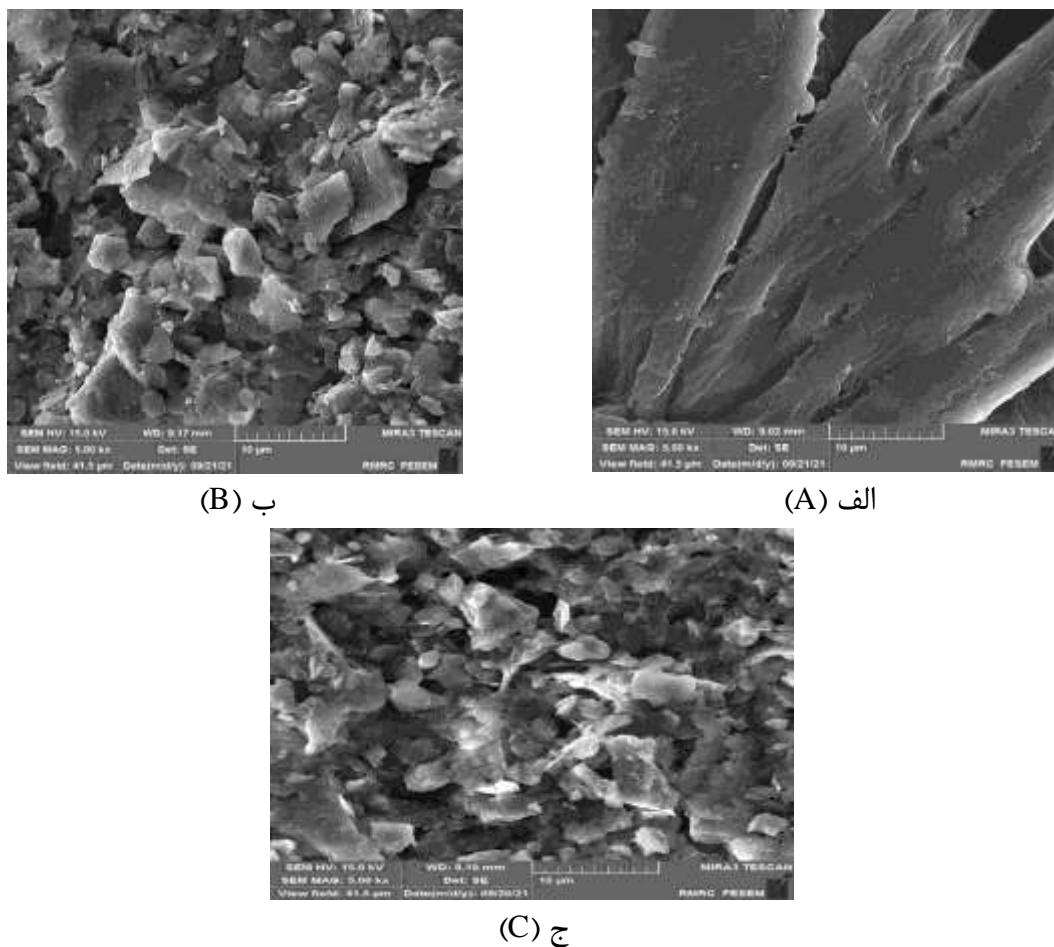
و ۲ ماه فریز است و کمترین میزان آن متعلق به مقوای روکش قهوه‌ای پوشش داده شده و ۴ ماه فریز شده است. مقادیر شاخص مقاومت در برابر ترکیدن در چهار گروه قرار گرفته است. بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر ترکیدن مربوط به نمونه شاهد و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد ۴ ماه فریز است. بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین مربوط به مقوای روکش قهوه‌ای پوشش داده شده است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه شاهد ۴ ماه فریز است. مقادیر شاخص مقاومت در جهت عرض ماشین در سه گروه قرار گرفت. بیشترین میزان شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرض ماشین مربوط به مقوای روکش قهوه‌ای شاهد ۲ ماه فریز شده است و کمترین میزان آن متعلق به نمونه‌های مقوای روکش قهوه‌ای ۲ بار پوشش داده شده و ۲ ماه فریز شده است. مقادیر شاخص کشش در جهت عرض ماشین در سه گروه قرار گرفت. بیشترین میزان مقاومت به له شدن در برابر حلقه در جهت ماشین مربوط به تیمارهای شاهد است و کمترین میزان آن متعلق به مقوای روکش قهوه‌ای پوشش داده شده است. میانگین مقادیر این مقاومت در دو گروه قرار گرفت. بیشترین میزان مقاومت به له شدن در برابر حلقه در جهت عرض ماشین مربوط به تیمار شاهد ۲ ماه فریز شده و کمترین میزان آن متعلق به مقوای روکش قهوه‌ای پوشش داده شده است.

شکل ۱ ریزنگار میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدان (FE-SEM) برای سطوح مقوای روکش قهوه‌ای شاهد (۴ ماه فریز) (شکل ۱ الف)، مقوای روکش قهوه‌ای دو بار اندود شده (شکل ۱ ب)، مقوای روکش قهوه‌ای دو بار اندود شده (۴ ماه فریز) (شکل ۱ ج) را نشان می‌دهد. کاغذهای بدون تیمار نشان داد که دارای منافذ بوده ولی نمونه‌های پوشش داده شده منافذ بسیار کمی داشتند.

جدول ۴- مقایسه میانگین خصوصیات کاغذهای مختلف

Table 4- Comparison of the average properties of different papers

ردیف Row	کد Cod	وزن پایه (gm <sup>-2</sup> ) Grammage (gm <sup>-2</sup> )	ضخامت (μm) (m)μCaliper	جذب آب (gm <sup>-2</sup> ) Water absorption (gm <sup>-2</sup> )	صافی سطح (Sec.) Surface smoothness (Sec.)	شاخص مقاومت در برابر ترکیدن (kPam <sup>2</sup> /g) Burst strength index (kPam <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت ماشین (mN.m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) Tear strength index in the machine direction (mN.m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	شاخص مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرض ماشین (mN.m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> ) Tear strength index in the cross direction (mN.m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین (mkN.mg <sup>-1</sup> ) Tensile strength index in the machine direction (mkN.mg <sup>-1</sup> )	شاخص مقاومت در برابر کشش در جهت عرض ماشین (mKN/m) Tensile strength index in the cross direction (mKNm <sup>-1</sup> )	مقاومت در له شدن در برابر له شدن حلقه در جهت ماشین (kNm <sup>-1</sup> ) Ring crush test in the machine direction (kNm <sup>-1</sup> )	مقاومت در له شدن در برابر له شدن حلقه در جهت عرض ماشین (kNm <sup>-1</sup> ) Ring crush test in the cross direction (kNm <sup>-1</sup> )
1	b <sub>0</sub>	127.51 <sup>a</sup>	203.8 <sup>a</sup>	156.1 <sup>d</sup>	4	1.68 <sup>d</sup>	4.77	5.84 <sup>bc</sup>	52.04 <sup>b</sup>	21.82 <sup>c</sup>	5.57 <sup>c</sup>	6.03 <sup>b</sup>
2	b <sub>2</sub>	124.7 <sup>a</sup>	198.5 <sup>a</sup>	160 <sup>e</sup>	4	1.53 <sup>c</sup>	5.03	6.29 <sup>c</sup>	51.04 <sup>b</sup>	21.21 <sup>c</sup>	5.5 <sup>c</sup>	6.57 <sup>b</sup>
3	b <sub>4</sub>	128.11 <sup>a</sup>	208.3 <sup>a</sup>	183 <sup>f</sup>	4	1.3 <sup>a</sup>	4.87	5.03 <sup>a</sup>	50.02 <sup>b</sup>	19.79 <sup>abc</sup>	5.5 <sup>c</sup>	5.96 <sup>b</sup>
4	bc <sub>20</sub>	167.5 <sup>b</sup>	240 <sup>b</sup>	50.7 <sup>a</sup>	7	1.43 <sup>bc</sup>	5.59	5.39 <sup>ab</sup>	48.75 <sup>b</sup>	21.19 <sup>bc</sup>	2.96 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>
5	bc <sub>22</sub>	167.5 <sup>b</sup>	231 <sup>b</sup>	62.1 <sup>b</sup>	7	1.48 <sup>bc</sup>	5.4	4.69 <sup>a</sup>	42.28 <sup>a</sup>	18.8 <sup>ab</sup>	4.9 <sup>bc</sup>	5.18 <sup>ab</sup>
6	bc <sub>24</sub>	163.98 <sup>b</sup>	231.8 <sup>b</sup>	75.4 <sup>c</sup>	7	1.4 <sup>ab</sup>	4.7	6.06 <sup>bc</sup>	38.75 <sup>a</sup>	17.4 <sup>a</sup>	4.48 <sup>b</sup>	5.76 <sup>b</sup>



ب (B)

الف (A)

ج (C)

شکل ۱- الف) مقوای روکش قهوه‌ای شاهد (۴ ماه فریز)، ب) مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش شده، ج) مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش شده (۴ ماه فریز)

Figure 1. (a) control brown layer cardboard (freeze for 4 months) (b), double coated brown layer cardboard (c), double coated brown layer cardboard (freeze for 4 months)

## بحث

نشده می‌باشد که می‌توان آن را به کوچک بودن ابعاد نانو ذرات و سطح ویژه بیشتر نسبت داد. این ذرات راحت‌تر در خلل و فرج موجود در بین الیاف قرار می‌گیرند، در نتیجه با کاهش خلل و فرج، باعث کاهش میزان جذب آب شدند. همچنین شایان ذکر 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 می‌شود. پورنصیر و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که به دلیل اندازه خیلی کوچک نانو ذرات، آنها به آسانی می‌توانند فضاهای خالی ماتریس پوشش خلل و فرج دار را پر کنند؛ از این رو پخش آسان آب یا رطوبت

پوشش‌دهی موجب افزایش ضخامت کاغذ شده است و نانو ذرات و مواد پوششی تأثیر معنی‌داری بر ضخامت کاغذهای پوشش داده شده داشته است. علت این افزایش ضخامت، باقی ماندن نانوذرات و مواد پوششی در سطح کاغذ می‌باشد. جذب آب یکی از خواص فیزیکی کاغذهای پوشش‌دهی محسوب می‌شود. به طور کلی جذب آب کاغذ به دو عامل، ساختار متخلخل ورقه و برهم کنش بین الیاف و آب بستگی دارد (Mashkour et al., 2016). میزان جذب آب در نمونه های پوشش داده شده با نانورس و نانو پلی‌اورتان و در نمونه های فریز شده، کمتر از نمونه های شاهد بدون پوشش و فریز

تنش، بیشتر شدن تمرکز تنش در سطح کاغذ و کمتر شدن این مقاومت‌ها شده است. ساختار میکروسکوپ الکترونی نشان داد در نمونه‌های پوشش داده شده منافذ و حفره‌های بین الیاف کاملاً پوشیده شده و پوشاندن این حفره‌ها باعث یکنواختی و افزایش کیفیت چاپ خواهد شد.

#### نتیجه‌گیری

پوشش‌دهی مقوا توسط نانو پلی‌اورتان و نانو رس، دارای مزایای زیادی است. استفاده از این مواد به دلیل قابل بازیافت بودن باعث کاهش نیاز کشور به واردات می‌شود. نتایج کلی پژوهش به‌طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد.

۱. ضخامت مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱۳/۷ درصد افزایش را نشان داد.
۲. جذب آب مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱۰۷ درصد کاهش را نشان داد.
۳. صافی سطح مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۷۵ درصد افزایش را نشان داد.
۴. مقاومت در برابر ترک‌پیدن مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۲۰ درصد کاهش را نشان داد.
۵. مقاومت در برابر پاره‌شدن در جهت ماشین مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۱/۵ درصد کاهش را نشان داد.
۶. مقاومت در برابر پاره شدن در جهت عرض ماشین مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۳/۸ درصد افزایش را نشان داد.
۷. مقاومت در برابر کشش در جهت ماشین مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۳۴/۳ درصد کاهش را نشان داد.

مشکل می‌شود، در نتیجه سبب کاهش خاصیت آبدوستی فیلم‌های نشاسته می‌شود. همچنین موارد مشابهی توسط Tunic و همکاران (۲۰۰۷) گزارش شده است.

صافی سطح کاغذها که یکی از شاخص‌های چاپ‌پذیری کاغذ است، اختلاف معنی‌داری ندارد. استفاده از دوبار پوشش منجر به افزایش صافی شده است. البته باید توجه کرد که این موضوع طبیعی است و با انجام عملیات فوق‌توزنی به‌طور یقین این ویژگی نسبت به نمونه شاهد بهبود بیشتری خواهد یافت (Asadi Khansari & Dehghani Firouzabadi, 2013).

آزمون مقاومت کششی که روی مواد بسته‌بندی کاغذی انجام می‌شود، آزمونی مکانیکی به‌منظور تعیین حداکثر باری است که یک ماده می‌تواند تحمل کند قبل از اینکه از هم گسیخته یا پاره شود. این ویژگی به عوامل مختلفی مانند مقاومت الیاف، مساحت سطح، طول و مقاومت اتصال بین آنها بستگی دارد (Rhim et al., 2006). مقاومت کششی مقوای بدون پوشش به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از مقوای پوشش‌دهی شده است، به‌طوری‌که کاهش مقاومت کششی ممکن است به دلیل نفوذ محلول پوشش در شبکه الیاف باشد که منجر به تورم الیاف سلولز و اختلال در اتصالات الیاف به الیاف می‌شود (Han & Krochta, 2001).

این مقاومت‌ها از جمله مقاومت‌هایی هستند که بیشتر تحت تأثیر اتصال بین الیاف است. البته هرچه الیاف نازک‌تر یا انعطاف‌پذیرتر باشد به دلیل ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر، پیوند بین الیاف افزایش یافته و مقاومت‌ها بیشتر می‌شود.

نتایج بیانگر آن است که حضور دو لایه پوشش روی سطح کاغذ موجب کاهش در میزان مقاومت کشش، ترکیدگی و له شدن در برابر حلقه در کاغذها شده است. این کاهش ممکن است به دلیل پایین بودن مقاومت پوشش نانورس و نانو پلی‌اورتان نسبت به کاغذ پایه، نفوذ ماده پوشش به ساختار کاغذ پایه و اختلال در اتصال بین الیاف باشد. این کاهش با نتایج مطالعات برخی محققان مطابقت دارد (Rhim et al., 2006). همچنین به نظر می‌رسد سطح کاغذهای پوشش‌دهی شده به یکنواختی کامل نرسیده است. این عمل سبب توزیع غیریکنواخت تنش در هنگام اعمال



- in: Make Paper Products Stand Out. Strategic Use of Wet End Chemical Additives. TAPPI Press, Atlanta, GA, Ch. 6, pp. 129-154.
- Mashkour, M. Afra, E. and Resalati, H., 2016. Prediction of nanofibrillated cellulose reinforced acetylated papers properties using artificial neural networks, *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 23(4): 268-292. (In Persian).
- Moakhar, F.K. Azadfallah, M., Jonoobi, M. and Rouhani, M., 2017. Effect of soy protein isolate/cellulose nanofiber composite coating on mechanical and barrier properties of packaging paper, *Forest and Wood Products*. 70(3): 548-539. (In Persian).
- Pornasir, N. Peyghambardoost, J. and Peyghambardoost, H., 2016. The study of physical, mechanical and antibacterial properties of nanobio-composite films based on starch containing silver, oxide and copper oxide nanoparticles. *Journal of new food technologies*. 14(4): 24-33.
- Rhim, J. W. Lee, J.H. & Hong, S.I., 2006. Water resistance and mechanical properties of biopolymer (alginate and soy protein) coated paperboards. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie (LWT)*, 39: 806–813.
- Reis, A. B. Yoshida, C.M., Reis, A.P.C. & Franco, T.T., 2011. Application of chitosan emulsion as a coating on Kraft paper. *Polymer International*, 60(6): 963-969.
- Samyn, P., Deconinck, M., Schoukens, G. and Vandenberghe, A.H., 2010. Modifications of paper and paperboard surfaces with a nanostructured polymer coating. *Progress in organic coatings*. 69(4): 442-454.
- Tunc, S., Angellier, H., Cahyana, Y., Chalier, P., Gontard, N. & Gastaldi, E., 2007. Functional properties of wheat gluten/montmorillonite nanocomposite films processed by casting. *Journal of membrane science*, 289(1-2): 159-168.
- Wang, S.h. and Jing, Y., 2016. Effects of chitosan coating layer on the surface properties & barrier properties of Kraft paper. *BioResources*. 11(1): 1868-1881.
۸. مقاومت در برابر کشش در جهت عرض ماشین مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۲۵/۴ درصد کاهش را نشان داد.
۹. مقاومت له‌شدن در برابر حلقه در جهت ماشین مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۲۴/۳ درصد کاهش را نشان داد.
۱۰. مقاومت له شدن در برابر حلقه در جهت عرض ماشین مقوای روکش قهوه‌ای دو بار پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد ۴/۷ درصد کاهش را نشان داد.
۱۱. نمونه‌های دو بار پوشش‌دهی شده منافذ بسیار کمی را نشان داد.

#### منابع مورد استفاده

- Asadi khansari, R. and Dehghani Firouzabadi, M., 2013. Introduce of new paper and cardboard in food packaging. *Journal of packaging science and technology*, 16(4): 46-57. (In Persian).
- Deisenroth, E. Jho. C., Haniff, M. and Jennings, J., 1998. The designing of a new grease repellent fluorochemical for the paper industry. *Surface Coatings International*, 81(9): 440-447.
- Espitia, P.J.P. 2013. Physical-mechanical and antimicrobial properties of nanocomposite films with pediocin and ZnO nanoparticles. *Carbohydr Polym*. 94(1): 199-208.
- Han, J.H. & Krochta, J. M., 2001. Physical properties and oil absorption of whey protein-coated paper. *Journal of Food Science*, 66(2): 294–299.
- Hubbe, M.A., 2020. Security papers: Trust but verify,

## Investigating the effect of freezing storage on physical and mechanical properties of cardboard coated with two layers of nano-polyurethane and nano-clay

J. Ebrahimpour-Kasmani<sup>1</sup>, A. Samariha<sup>2</sup> and A. Khakifirooz<sup>3</sup>

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-Department of Wood Industry, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran.

3-Faculty of Chemistry and Petrochemical Engineering, Department of Cellulosic Materials and Packaging, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran

Received: Jan., 2023

Accepted: April, 2023

### Abstract

This research was conducted with the aim of investigating the effect of two-layers coating of nano-polyurethane and nano-clay on the mechanical and physical properties of packaging cardboard with brown layer. For this purpose, brown layer cardboard with the grammage of 127 grams/m<sup>2</sup> was prepared and tested. The cardboard was first spray coated with nano-polyurethane. Then the surface of the sprayed brown layer cardboard surface was covered with nano-clay to improve the performance of the coating material of the first treatment. Nano-clay coating was performed by a laboratory coating machine called barcoater. The coated cardboards were restrained and dried at room temperature for one day to stabilize the coating material on the surface. Then the samples were placed inside the freezer for 2 and 4 months and the properties were measured. The results showed that coating reduced water absorption. In the coated and frozen samples, an increase in thickness, smoothness of the surface and a decrease in water absorption and resistance properties were measured compared to control samples. Double coated samples showed very few porosity. The thickness of the coated samples, smoothness of the surface and tearing resistance in the machine cross direction of the double coated brown cardboard showed an increase of 13.7%, 75% and 3.8%, respectively, compared to the control sample. Water absorption, burst, tear and tensile strength in the machine direction, , tensile strength in the cross machine direction, resistance to ring crush test in the machine direction and resistance to ring crush test in the cross machine direction of the double-coated brown layer cardboard compared to the control sample, measured which showed 107.20, 1.5, 34.3, 25.4, 24.3, and 4.7 percent decrease respectively.

**Keywords:** Coating, freezing, physical properties, mechanical, brown top, refrigerated products.