Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Science Research
Vol. 38, No. 4, Page 251-265 (2023) DOI: 10.22092/ijwpr.2023.363105.1760

The effect of some additives to improve water absorption and strengths of paper prepared from old corrugated container

Saeed Mahdavi[1*] and Behnam Gholampoor [2]

1*-Corresponding author, Associate prof., Wood and Forest Products Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO). Tehran, Iran
2- Ph.D. graduate, Department of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: Aug., 2023 Revised: October 2023 Accepted: October 2023

Abstract

Background and objectives: Paper industry in addition to reducing the consumption of various resources such as water, energy, and wood, continues to recycle used paper in different countries due to less pollution. One of the major drawbacks of the old corrugated container (OCC) recycling is its relatively weak strength, which has limited its use in various sections of the packaging industry. In this study, the effect of using some additives to improve the strengths of OCC to make the top liner of cartons in both wet and dry conditions was studied.

Methodology: OCC was selected from domestically produced cartons. To determine the performance and optimal amount of additives, corn cationic starch (at 1, 1.4 and, 2%), wet strength resin (at 1, 2 and, 3%), AKD (at 1, 2 and, 3%), and long fiber of imported bulk tea wrapping paper (at 10, 15 and, 20%) based on the dry weight of OCC pulp were separately used as additives. The handsheets were made using laboratory sheet former with the basis weight of 120 g/m^2 and then tensile, burst, and tear indices were measured both at wet and dry conditions to compare the effect of additives. Also, water absorption was measured by the Cobb test on the test samples. The optimal level of each additive was determined based on the results, and then handsheets data from optimal combination treatment including appropriate levels of all additives, and different properties of handsheets were statistically compared.

Results: The water absorption of handsheet was statistically decreased to 90% level compared to the control by adding AKD. This additive was able to reduce the water absorption of handsheet made from OCC to about 20 g/m^2 as the appropriate range. The greatest increase of wet tensile strength of the handsheet was achieved using 3% wet strength resin compared to the control. The resin maintained the wet tensile, burst, and tear indices of the residual strength of handsheet by 25, 46, and 58%, respectively, compared to dry strengths which indicates its good performance. The results showed that by adding cationic corn starch and recycled long fiber paper, all the dry strengths of handsheet independently increased compared to the control. The optimal combination treatment was determined according to the results independent use of additives in OCC pulp, including 1% cationic starch, 1% AKD, and 3% wet strength resin based on technical-economic considerations. There is no significant difference between dry tensile and burst strength of handsheet using this treatment and 20% recycled long fiber of wrapping paper, which both means ranked statistically in the same group.

Conclusion: The use of 20% recycled long fiber of wrapping paper significantly improved the dry strength of OCC pulp, but adding 1% cationic corn starch to OCC pulp caused limit increase in dry strength. The wet strength of handsheet was significantly improved by adding 3% wet strength resin whereas 1% AKD significantly decreased the water absorption of the OCC pulp to 14 g/m^2. The optimal combination treatment of chemical additives including 1% cationic corn starch, 1% AKD, and 3% wet strength resin improved the wet and dry strength of handsheet made from OCC pulp that could be used for packaging products which need to be kept in refrigerator and freezer.

Keywords: Packaging, top liner, recycled long fiber, chemical additives, wet strength, dry strength.

تأثیر برخی مواد افزودنی در بهبود جذب آب و مقاومت‌های کاغذ تهیه شده از خمیرکاغذ کارتن کهنه

سعید مهدوی[۱*] و بهنام غلامپور[۲]

۱*- نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست‌الکترونیک: smahdavi@rifr-ac.ir

۲ –فارغ التحصیل دکتری، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: مرداد ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: مهر ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: مهر ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: بازیافت کاغذ علاوه بر کاهش مصرف منابع مختلف مانند آب، انرژی و نیز چوب درختان در کشورهای مختلف، به‌دلیل آلایندگی کمتر همواره رو به افزایش است. یکی از نقاط ضعف اصلی خمیرکاغذ کارتن کهنه، ویژگی‌های مقاومتی آن است که سبب محدود شدن کاربرد آن در بخش‌های مختلف صنعت بسته‌بندی شده است. در این مطالعه، به بررسی تأثیر استفاده از مواد افزودنی برای بهبود ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ کارتن کهنه در دو حالت تر و خشک به منظور ساخت کاغذ لاینر رویه کارتن پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: خمیرکاغذ کارتن کهنه از کارتن‌های تولید داخل کشور تهیه شد. به منظور بررسی عملکرد و تعیین مقدار بهینه مواد افزودنی، ابتدا از نشاسته کاتیونی ذرت (با سطوح ۱، ۱/۴ و ۲ درصد)، رزین بهبوددهنده مقاومت تر کاغذ (با سطوح ۱، ۲ و ۳ درصد)، AKD (با سطوح ۱، ۲ و ۳ درصد) و خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی لفاف چای وارداتی (با سطوح ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ به‌عنوان مواد افزودنی و به‌صورت جداگانه به خمیرکاغذ کارتن کهنه استفاده شد و کاغذهای دست‌ساز آزمایشگاهی با جرم پایه ۱۲۰ گرم بر مترمربع ساخته شد. برای مقایسه اثر مستقل افزودنی‌ها، مقاومت کششی، مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پاره شدن در دو حالت تر و خشک و مقدار جذب آب (کاب) بر روی نمونه‌های آزمونی اندازه‌گیری شد. بر این اساس، سطح بهینه مواد افزودنی مشخص شد و بعد از تیمار ترکیب بهینه شامل خمیر کارتن کهنه و سطوح مناسب همه افزودنی‌ها، کاغذهای دست‌ساز ساخته شد و خواص مختلف آنها مقایسه آماری گردید.

نتایج: مقدار جذب آب (کاب) کاغذهای دست‌ساز با افزودن AKD، نسبت به نمونه شاهد تا حدود ۹۰ درصد کاهش یافت و این افزودنی توانست مقدار جذب آب کاغذ دست‌ساز تهیه شده از کارتن کنگره‌ای کهنه را تا محدوده مناسبی (حدود ۲۰ گرم بر مترمربع) کاهش دهد. بیشترین افزایش مقاومت کششی در حالت تر کاغذ با استفاده از ۳ درصد رزین مقاومت تر نسبت به شاهد حاصل شد. این رزین مقاومت کششی، ترکیدن و پاره شدن باقیمانده در کاغذ بازیافتی را در حالت تر به‌ترتیب در حدود ۲۵، ۴۶ و ۵۸ درصد نسبت به حالت خشک حفظ کرده است و عملکرد مناسبی داشته است. نتایج نشان داد که با افزودن نشاسته کاتیونی و خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی، همه مقاومت‌های کاغذ دست‌ساز در حالت خشک نسبت به نمونه شاهد، به‌صورت مستقل افزایش یافتند. تیمار ترکیب بهینه براساس نتایج حاصل از استفاده افزودنی‌ها به‌طور مستقل در خمیرکاغذ OCC، شامل استفاده از ۱ درصد نشاسته کاتیونی، ۱ درصد AKD و ۳ درصد رزین مقاومت تر براساس ملاحظات فنی- اقتصادی انتخاب شد. استفاده از این تیمار باعث شد که میانگین مقاومت‌های کششی و ترکیدن در حالت خشک کاغذهای دست‌ساز، با افزودن ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی اختلاف معنی‌داری نداشته باشد و میانگین آنها در یک گروه آماری قرار بگیرد.

نتیجه‌گیری: استفاده از ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی لفاف چای، موجب بهبود قابل توجه مقاومت‌های خمیرکاغذ کارتن کهنه در حالت خشک شده است، اما افزودن ۱ درصد نشاسته کاتیونی ذرت موجب بهبود ناچیزی در مقاومت‌های خشک خمیرکاغذ کارتن کهنه شد. استفاده از ۳ درصد رزین مقاومت تر نیز موجب بهبود معنی‌دار مقاومت‌های خمیرکاغذ کارتن کهنه در حالت

تر شده است و افزودن ۱ درصد AKD موجب کاهش معنی‌دار جذب آب خمیرکاغذ کارتن کهنه تا حدود ۱۴ گرم بر مترمربع شد. تیمار بهینه اختلاط افزودنی‌های شیمیایی شامل ۱ درصد نشاسته کاتیونی ذرت، ۱ درصد AKD و ۳ درصد رزین مقاومت تر برای بهبود مقاومت‌های تر و خشک کاغذ لاینر ساخته شده از خمیرکاغذ کارتن کهنه برای استفاده در بسته‌بندی فراورده‌های سردخانه‌ای و فریزری توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی، لاینر رویه، الیاف بلند بازیافتی، افزودنی‌های شیمیایی، مقاومت تر، مقاومت خشک.

مقدمه

با توجه به کاهش منابع جنگلی، روش‌های تأمین مواد اولیه لیگنوسلولزی مناسب برای صنایع کاغذسازی مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است (Schier *et al.*, 2021). در سالیان اخیر، به دلایل متعددی ازجمله رشد جمعیت، ملاحظات زیست‌محیطی و کمبود منابع چوبی، استفاده از کاغذهای بازیافتی روند افزایشی داشته است. کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC) یکی از مهمترین انواع کاغذهای باطله به لحاظ میزان و حجم (تُناژ) قابل بازیافت می‌باشد (Ashori & Nourbakhsh, 2008). کاغذ به دلیل سبکی وزن، جابه‌جایی آسان، انعطاف‌پذیری، سازگاری با محیط‌زیست، پایداری و قابلیت بازیافت، ماده‌ای بسیار پرکاربرد برای بسته‌بندی است (Francolini *et al.*, 2023). سهولت تبدیل کاغذهای باطله به خمیرکاغذ و استفاده دوباره از آنها، یکی از عوامل مؤثر در بازیافت این کاغذهاست. کاغذهای باطله و الیاف بازیافتی برای تولید محصولاتی ازجمله مقوا و کاغذهای بسته‌بندی استفاده می‌شوند. در این محصولات، حد معینی از مقاومت‌ها مورد نیاز هستند (Ghasemian & Khalili, 2011). یکی از چالش‌های اساسی موجود، کاهش مقاومت کاغذ با افزایش تعداد چرخه بازیافت به دلیل پدیده استخوانی‌شدن (Hornification) الیاف می‌باشد (Hamzeh *et al.*, 2012). به دلیل افزایش تقاضا برای کاغذ و مقوا، محققان به دنبال راه حل مناسب برای استفاده از انواع مواد لیگنوسلولزی و مواد افزودنی با هدف تولید محصولات با ارزش افزوده بیشتر هستند (Tajik *et al.*, 2018). در فرایند بازیافت، استفاده از روش‌هایی ازجمله پالایش، افزودن الیاف بکر، استفاده از مواد افزودنی شیمیایی و سایر روش‌ها برای بهبود کیفیت اتصال الیاف به یکدیگر و بهبود ویژگی‌های کاغذ و مقوا اهمیت فراوانی دارند (Ghasemian & Khalili, 2011). افزودنی‌های شیمیایی بهبوددهنده مقاومت‌های کاغذ به دو دسته تر و خشک تقسیم‌بندی می‌شوند. افزودنی‌های شیمیایی بهبوددهنده مقاومت‌های خشک کاغذ مانند نشاسته، استحکام و سطح پیوند را افزایش می‌دهند. درحالی‌که پلی آکریل آمید و کربوکسی متیل سلولز عمدتاً منجر به بهبود استحکام پیوندها می‌شوند. علاوه‌براین، افزودنی‌های مذکور باعث استحکام کاغذ در حالت خشک شده و می‌توانند به‌عنوان جایگزین پالایش خمیرکاغذ مطرح باشند. این موضوع می‌تواند تأثیرات اساسی بر کیفیت کاغذ داشته باشد. مانند کاهش هم‌کشیدگی کاغذ در جهت عرض ماشین کاغذ (CD) که منجر به بهبود مقاومت لبه‌های کاغذ، صافی سطح و ثبات ابعادی آن می‌شود (Lindström *et al.*, 2005). مقاومت تر کاغذ یکی از ویژگی های کلیدی است که سبب افزایش ارزش‌افزوده کاغذ می‌شود. مقاومت تر، قابلیت حفظ مقاومت و استحکام کاغذ در شرایط مرطوب مانند قرار گرفتن در مناطق حاره‌ای، یخچال و فریزر است. افزودن رزین‌های مقاومت تر مصنوعی مانند پلی‌آمید اپی‌کلروهیدرین (PAE)، پلی اکریل آمید (PAM) و پلی‌اتیلن ایمین (Polyethyleneimine)(PEI) در طول فرایند تولید کاغذ، سبب حفاظت و جلوگیری از متلاشی‌شدن کاغذ در معرض رطوبت می‌شود که این موضوع کاربرد کاغذ برای بسته‌بندی میوه، سبزی‌ها و فراورده‌های دریایی را تسهیل می‌کند. این عوامل نقش مهمی در افزایش دوام، استحکام و پایداری ابعادی محصولات کاغذی دارند. سازوکار اثر رزین مقاومت تر به نوع آن بستگی دارد. رزین‌های مصنوعی مانند PAE با تشکیل پیوندهای

کووالانسی با الیاف سلولزی در کاغذ عمل می‌کنند و شبکه‌ای قوی ایجاد می‌نمایند که در برابر تخریب کاغذ در تماس با آب، مقاومت می‌کند (Francolini *et al.*, 2023). نشاسته رایج‌ترین و اقتصادی‌ترین افزودنی تقویت‌کننده مقاومت‌های خشک کاغذ در مقایسه با سایر رزین‌های مرسوم است (Bhardwaj *et al.*, 2005). نشاسته نوعی پلی‌ساکارید و به لحاظ ساختاری شبیه سلولز می‌باشد. با توجه به منبع نشاسته (سیب‌زمینی، گندم، ذرت و تروپیکا)، دو نوع نشاسته آمیلوز (خطی) متشکل از واحدهای ۱ و ۴ آلفا–دی گلوکوپیرانوز و آمیلوپکتین (شاخه‌ای) دارای یک شاخه اضافی ۱ و ۶ آلفا دی گلوکوپیرانوز وجود دارد. نشاسته قابلیت یونیزه شدن توسط عوامل کاتیونی برای اتصال به مواد با سطح آنیونی را دارا می‌باشد (Grigoriev *et al.*, 2012; Dash & Swain, 2013). نشاسته کاتیونی در مقیاس صنعتی برای نگهداری الیاف و نرمه‌ها، تقویت مقاومت خشک کاغذ و بهبود شکل گیری کاغذ استفاده می‌شود (Grommers *et al.*, 2009). نشاسته کاتیونی به دلیل بارهای مثبت و تشکیل پیوندهای هیدروژنی و الکترواستاتیکی، به صورت سنتی بین ۱ تا ۲ درصد برای تقویت ویژگی‌های مکانیکی استفاده شده است (Yoon & Deng, 2006). افزودن عامل مقاومت تر در طول فرایند تولید، سبب حفاظت و جلوگیری از متلاشی‌شدن کاغذ در معرض رطوبت می‌شود که این موضوع کاربرد کاغذ برای بسته‌بندی را تسهیل می‌کند (Francolini *et al.*, 2023). وقتی کاغذ و مقوا در شرایط محیطی با رطوبت زیاد قرار می‌گیرد، آب موجب تورم الیاف و شکستن پیوندهای بین لیفی شده و فقط بین ۳ تا ۱۰ درصد از مقاومت‌ها نسبت به استحکام اولیه در حالت خشک (در رطوبت نسبی ۵۰ درصد) باقی می‌ماند. بخشی از این استحکام باقیمانده ناشی از پیوندهای کووالانسی بین لیفی است. مقاومت تر کاغذ را نمی‌توان به‌صورت مطلق تعریف کرد و معمولاً بیان کردن مقاومت تر به خشک به صورت درصد نسبی معمول است. Chan (۱۹۹۴) بیان می‌کند که اگر کاغذ پس از تر شدن، بیش از ۱۵ درصد از استحکام کششی خشک خود را حفظ کند، می‌توان آن را در شمار کاغذهای مقاوم در حالت تر در نظر گرفت. برخی رزین‌های مقاومت تر کارآمد ممکن است باعث حفظ مقاومت‌های تر کاغذ تا ۵۰ درصد مقاومت‌های خشک آن شوند، اگرچه ۲۰ تا ۴۰ درصد معمول‌تر است. در محیط‌های مرطوب، مقاومت فشاری کاغذهای بسته‌بندی با کمک عملیات کاغذسازی شامل افزودن رزین‌های مقاومت تر، پرس ورقه مرطوب و خشک کردن آن، می‌تواند به‌طور قابل توجهی بهبود یابد (Lindström *et al.*, 2005). استفاده از ترکیب نشاسته کاتیونی و پلی آکریل آمید (PAM) و نانو الیاف سلولز (NFC) به همراه ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند سوزنی‌برگ سبب بهبود قابل‌توجه طول پاره‌شدن کاغذهای دست ساخت آزمایشگاهی گردید (Charani & Moradian, 2019). استفاده از نشاسته و کیتوزان نیز سبب بهبود شاخص مقاومت به ترکیدن و پاره شدن گردید (Bhardwaj *et al.*, 2016). استفاده از کربوکسی متیل سلولز (CMC) با دانسیته بالا در ساخت کاغذهای دست‌ساز آزمایشگاهی از خمیرکاغذ کارتن کهنه شده سبب افزایش ۳ برابری مقاومت کششی و مدول یانگ نمونه‌های تولید شده گردید (Yang *et al.*, 2023). بررسی ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز با استفاده از مقادیر مختلف گالاکتومانان کاتیونی (Cationic galactomannan) با درجه استخلاف ۰/۱ و ۰/۲۸ حکایت از بهبود مقاومت به ترکیدن (۲۶ درصد)، مقاومت به پاره شدن (۱۶ درصد) و مقاومت کششی (۲۱ درصد) داشت (Sharma *et al.*, 2020). اصلاح نشاسته کاتیونی با ۲ کلرو استامید در محیط آبی و واکنش با فرمالدهید و استفاده در تولید کاغذ، سبب بهبود شاخص مقاومت کششی در حالت تر و خشک و شاخص مقاومت به ترکیدن در حالت خشک به ترتیب به میزان ۲۴۳، ۳۶ و ۳۸ درصد نسبت به نمونه شاهد شد (Marcello & Salam, 2023).

در این مطالعه، اثر افزودن خمیرکاغذ الیاف بلند لفاف چای و مواد شیمیایی شامل نشاسته کاتیونی ذرت، AKD (Alkyl ketene dimer) و رزین بهبوددهنده مقاومت تر بر جذب آب و نیز مقاومت‌های تر و خشک کاغذهای دست‌ساز تهیه شده از خمیرکاغذ کارتن کهنه (OCC) به منظور استفاده به‌عنوان لاینر رویه کارتن‌های سردخانه‌ای و فریزری بررسی و مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

به منظور تهیه خمیرکاغذ کارتن کهنه از جعبه‌های کارتن محصولات شوینده و بهداشتی استفاده شد. ابتدا کارتن به صورت دستی به قطعات کوچک‌تر تبدیل و به‌مدت ۲۴ ساعت در آب خیس شد. سپس خمیرکاغذ شستشو و توسط دست ورز داده شده و آبگیری شد. عملیات جداسازی الیاف با استفاده از یک جداکننده آزمایشگاهی و برای هر بار به میزان ۲۰ گرم با استفاده از ۲۰۰۰ میلی‌لیتر آب با دمای (۵±۲۰) درجه سلسیوس طبق استاندارد (جدول ۴) انجام شد. سپس، خمیرکاغذ بر روی الک آزمایشگاهی با مش ۲۰۰ آبگیری و به‌مدت ۵ ساعت در محیط آزمایشگاه هواخشک شد. آنگاه خمیرکاغذ در داخل کیسه پلاستیکی جمع‌آوری شده و پس از متعادل شدن، میزان رطوبت آن اندازه‌گیری شد. درجه روانی خمیرکاغذ (SR) اولیه خمیرکاغذ کارتن کهنه طبق روش استاندارد اندازه‌گیری شد (جدول‌های ۱ و ۴).

خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی از کاغذ لفاف بسته‌بندی چای فله وارداتی تهیه شد. بدین منظور، دو لایه داخلی و خارجی لفاف تبدیل به ابعاد کوچک‌تر شده و در آب به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد. برای جداسازی کامل خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی نیز از جداکننده آزمایشگاهی طبق استاندارد مربوط استفاده شد. خمیرکاغذ الیاف بلند به منظور هواخشک شدن در محیط آزمایشگاه قرار داده شد و میزان رطوبت و درجه روانی اولیه خمیرکاغذ (SR0) اندازه‌گیری شد. پالایش خمیرکاغذ الیاف بلند نیز طبق روش استاندارد تا رسیدن به درجه روانی خمیرکاغذ ۳۲ =SR انجام شد. مشخصات فنی دو نوع خمیرکاغذ مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات دو نوع خمیرکاغذ مورد استفاده

Table 1. Technical specifications of cationic corn starch

SR	Refining revolution number	SR_0	Moisture (%)	pH	Appearance	Pulp
30	-	30	75.9	7.48	Brown	Corrugated cardboard
32	3600	13	72.6	7.12	Brown	Recycled wrapping paper pulp

نشاسته کاتیونی ذرت برای بهبود مقاومت‌های خشک کاغذ، AKD به‌عنوان افزودنی کاهش‌دهنده جذب آب کاغذ و رزین بهبوددهنده مقاومت تر کاغذ از شرکت سوبرا رزین تهیه شدند. برای آماده‌سازی نشاسته کاتیونی ذرت، ابتدا محلول ۴ در صد با آب مقطر تهیه و با شر حاوی محلول نشاسته روی همزن مغناطیسی تا دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد توأم با همزنی طی مدت زمان کل ۲۵ دقیقه به آرامی گرم شد (Karimi *et al.*, 2022). اختلاط ماده AKD با خمیرکاغذ کارتن کهنه با در صد خشکی ۲۴ در صد طی مدت همزنی ۴ دقیقه انجام شد. برای افزایش مقاومت‌های تر خمیرکاغذ، از رزین مقاومت تر با غلظت ۱۰ درصد و درصد خشکی خمیرکاغذ حدود ۲۴ درصد طی مدت همزنی ۴ دقیقه استفاده شد. مشخصات مواد افزودنی شیمیایی مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات مواد شیمیایی افزودنی مورد استفاده

Table 2. Specifications of chemical additives used

Viscosity (CPs)	Density (g/cm^3)	Ash (%)	Solid content (%)	Moisture (%)	pH	Brightness	Appearance	Additive
450	0.64	2	94.26	5.74	7.2	85	White powder	Cationic starch
-	1.04	-	17	83	2.68	-	Colorless liquid	AKD
-	1.08	-	12.5		4.06		Yellow liquid	Wet strength resin

جدول ۳- کد تیمارهای مورد استفاده

Table 3. Treatment Codes

Code	Level (%)	Treatment	Code	Level (%)	Treatment
A1	1	AKD	C	-	Without additive (control)
A2	2				
A3	3				
WS1	1	Wet strength	CS1	1	Cationic starch
WS2	2		CS2	1.4	
WS3	3		CS3	2	
OA (CS1, A1, WS3)		Pulp with the optimal amount of chemical additives	LF10	10	Recycled long fiber wrapping paper
			LF15	15	
			LF20	20	

تأثیر مواد افزودنی ذکر شده بر خواص فیزیکی کاغذهای دست‌ساز طبق روش‌های آزمون استاندارد (جدول ۴) بررسی و مقایسه شد. ساخت کاغذهای دست‌ساز آزمایشگاهی با جرم پایه ۱۲۰ گرم بر مترمربع از خمیرکاغذهای با و بدون مواد افزودنی (شاهد) نیز به ازای هر تیمار ۱۰ عدد طبق روش استاندارد مربوط انجام شد (جدول ۴).

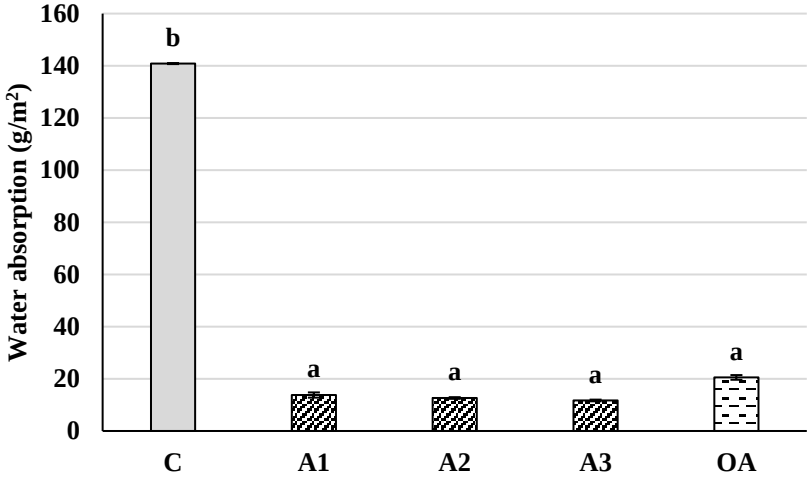
جدول ۴- روش‌های آزمون استاندارد

Table 4. Test methods of standard

Standard number	Test method	Standard number	Test method
INSO 475	Paper water absorption	INSO 3225	Pulp and paper moisture content
INSO 1115	Dry tensile strength	INSO 3789	Freeness of pulp
INSO 1543	Wet tensile strength	INSO 4719-1	Laboratory disintegration of pulp
INSO 7065	Dry burst strength	INSO 3790-2	Pulp Beating
INSO 3070	Wet burst strength	INSO 3788-1	Handsheet making
INSO 1297	Tear strength	INSO 471	Basis weight

نتایج

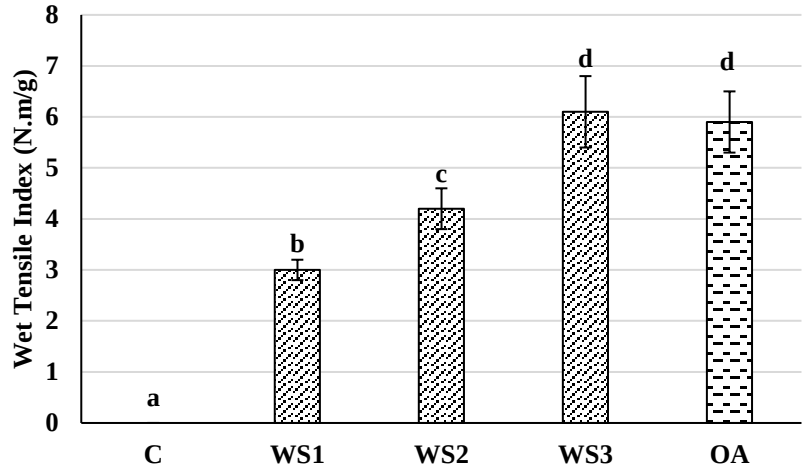
اثر مقادیر مختلف AKD بر میانگین کاهش جذب آب کاغذهای دست‌ساز در شکل ۱ دیده می‌شود. بر این اساس، کاغذهای نمونه شاهد بیشترین میزان جذب آب را داشت و با افزودن AKD از ۱ تا ۳ درصد، میانگین‌های جذب آب کاغذ از نظر آماری کاهش معنی‌داری یافته و طبق گروه‌بندی دانکن همگی در گروه مستقل a قرار گرفته است. با افزودن AKD، میانگین جذب آب کاغذهای دست‌ساز، بیش از ۹۰ درصد نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت و به حدود ۲۰ گرم بر مترمربع رسید. با استفاده از سطوح بهینه مواد افزودنی شیمیایی (تیمار OA) در کاغذ، جذب آب کاغذ نسبت به نمونه شاهد حدود ۸۵ درصد کاهش یافت و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل a قرار گرفته که با میانگین جذب آب کاغذهای تیمار شده با سه سطح AKD اختلاف معنی‌داری نیز ندارد.



شکل ۱- جذب آب کاغذ (کاب)

Figure 1. Water absorption (cobb)

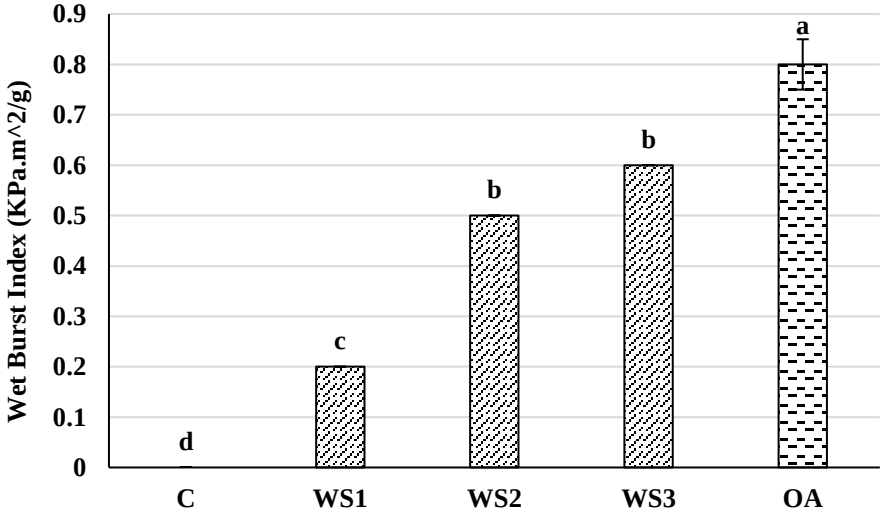
تأثیر مقادیر مختلف رزین مقاومت تر بر شاخص مقاومت کششی در حالت تر کاغذ در شکل ۲ قابل مشاهده است. به‌دلیل ناچیز بودن این مقاومت برای کاغذهای دست‌ساز بدون رزین (شاهد)، اندازه‌گیری آن توسط دستگاه مقاومت کششی میسر نشد. با افزایش مقدار استفاده از رزین مقاومت تر از ۱ تا ۳ درصد، به ترتیب کمترین و بیشترین میزان افزایش شاخص مقاومت کششی در حالت تر کاغذ به میزان حدود ۳۰۰ و ۶۰۰ درصد نسبت به نمونه شاهد حاصل شد. با افزایش مقدار رزین، مقدار این شاخص روند افزایشی داشته که نسبت به نمونه شاهد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری حاصل شده و طبق گروه‌بندی دانکن در سه گروه مستقل b، c و d قرار گرفته است. استفاده از سطوح بهینه مواد افزودنی شیمیایی (تیمار OA) نیز باعث افزایش معنی‌دار این شاخص نسبت به نمونه شاهد شده که با شاخص کاغذ حاوی ۳ درصد نیز از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشته و براساس گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل d قرار گرفته است.



شکل ۲- اثر رزین مقاومت تر و سطح بهینه افزودنی‌های شیمیایی بر شاخص مقاومت کششی کاغذ در حالت تر

Figure 2. Effect of wet strength resin, and optimal level of chemical additives on wet tensile index

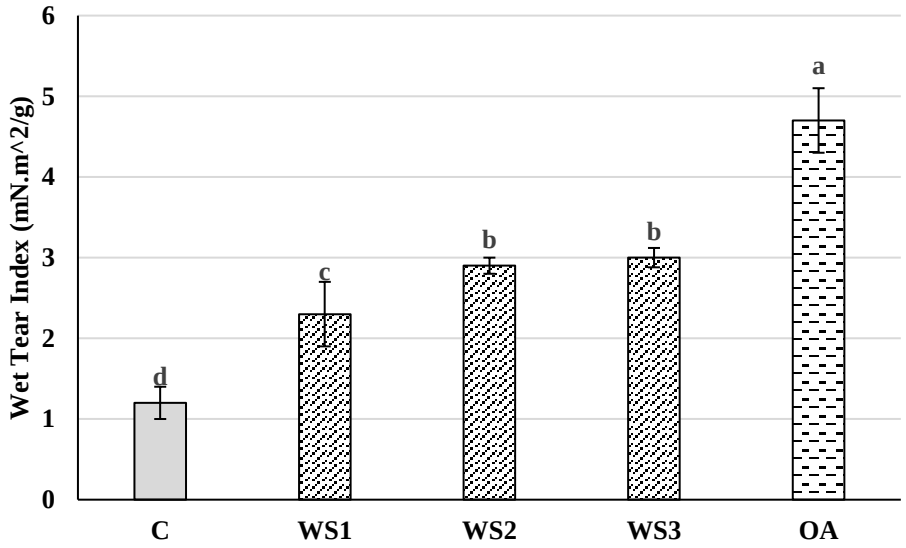
اثر افزودن مقادیر مختلف رزین مقاومت تر بر میانگین‌های شاخص مقاومت به ترکیدن در حالت تر کاغذهای دست‌ساز در شکل ۳ قابل مشاهده است. به‌دلیل ناچیز بودن این مقاومت برای کاغذهای دست‌ساز بدون رزین (شاهد)، اندازه‌گیری آن توسط دستگاه مقاومت به ترکیدن نیز میسر نشد. افزودن رزین مقاومت تر، سبب افزایش شاخص مقاومت به ترکیدن در حالت تر کاغذها نسبت به نمونه شاهد شد و با افزایش مقدار مصرف رزین، این شاخص روند افزایشی نشان داد. با افزایش مقدار استفاده از رزین مقاومت تر از ۱ تا ۳ درصد، به ترتیب کمترین و بیشترین میزان افزایش شاخص مقاومت به ترکیدن در حالت تر کاغذ به میزان حدود ۲۰۰ و ۶۰۰ درصد نسبت به نمونه شاهد حاصل شد. با افزودن ۲ و ۳ درصد رزین مقاومت تر، اختلاف آماری بین میانگین‌های شاخص ترکیدن کاغذ معنی‌دار نبوده و هر دو میانگین این شاخص طبق گروه-بندی دانکن در گروه مستقل b قرار گرفته است. بیشینه شاخص ترکیدن کاغذ در حالت تر با استفاده از سطوح بهینه مواد افزودنی شیمیایی (تیمار OA) نسبت به نمونه شاهد حاصل شده که براساس گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل a قرار می‌گیرد و این تیمار توانسته است تا حدود ۸ برابر نسبت به نمونه شاهد، این شاخص را افزایش دهد



شکل ۳- اثر رزین مقاومت تر و سطح بهینه افزودنی‌های شیمیایی بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ در حالت تر

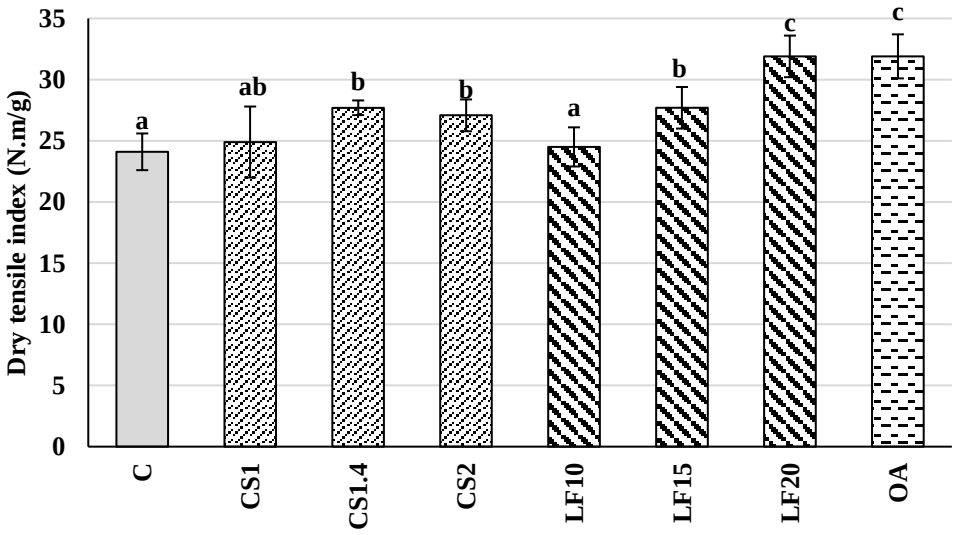
Figure 3. Effect of wet strength resin and optimal level of chemical additives on wet burst index

شکل ۴ اثر مقادیر مختلف رزین مقاومت تر بر شاخص مقاومت به پاره شدن در حالت تر کاغذهای دست‌ساز را نشان می‌دهد. روند تغییرات میانگین‌های این شاخص با افزایش مقدار مصرف رزین نسبت به نمونه شاهد از نظر آماری معنی دار بوده و افزایشی است. با افزایش مقدار مصرف رزین از ۱ تا ۳ درصد، به ترتیب شاخص مقاومت به پاره شدن در حالت تر کاغذ به میزان حدود ۹۱ و ۱۵۰ درصد افزایش یافت که البته بین میانگین‌های این شاخص با افزودن ۲ و ۳ درصد رزین مقاومت تر اختلاف آماری وجود نداشته و طبق گروه بندی دانکن در گروه مستقل b قرار گرفته‌اند. بیشینه شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ در حالت تر، با استفاده از سطوح بهینه مواد افزودنی شیمیایی (تیمار OA) نسبت به نمونه شاهد حاصل شده که براساس گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل a قرار گرفته است. این تیمار توانسته است تا حدود ۲۹۲ درصد نسبت به نمونه شاهد بیشترین افزایش این شاخص را موجب شود.



شکل ۴- اثر رزین مقاومت تر و سطح بهینه افزودنی‌های شیمیایی بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ در حالت تر

Figure 4. Effect of wet strength resin and optimal level of chemical additives on wet tear index



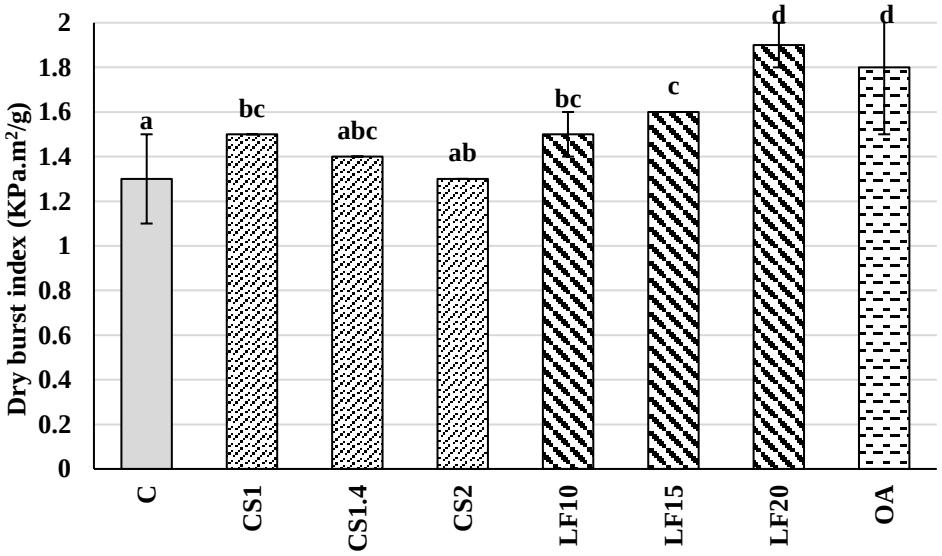
شکل ۵- اثر خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی، نشاسته کاتیونی ذرت و تیمار بهینه افزودنی‌های شیمیایی بر شاخص مقاومت کششی خشک

Figure 5. Effect of recycled long fiber and cationic corn starch, and optimal treatment of chemical additives on dry tensile index

شکل ۵ روند تغییرات میانگین شاخص مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز را در حالت خشک، با افزودن نشاسته کاتیونی ذرت و خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی لفاف چای نشان می‌دهد. با افزایش مقدار نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ کارتن کهنه، روند تغییرات میانگین شاخص مقاومت کششی معنی‌دار نمی‌باشد. نتایج به‌دست آمده حکایت از افزایش معنی‌دار این شاخص با افزایش مقدار خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی دارد که در هر سه سطح نیز معنی‌دار است. بیشترین میزان افزایش این شاخص را استفاده از ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی به میزان ۳۲ درصد نسبت به نمونه شاهد

موجب شده است. استفاده از مواد شیمیایی افزودنی با سطوح بهینه (تیمار OA) نیز باعث بهبود بیشینه میانگین شاخص مقاومت کششی خشک کاغذ دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد شده است که از نظر آماری با کاغذ حاوی ۲۰ درصد الیاف بلند بازیافتی اختلاف معنی‌داری ندارد و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل c قرار گرفته است.

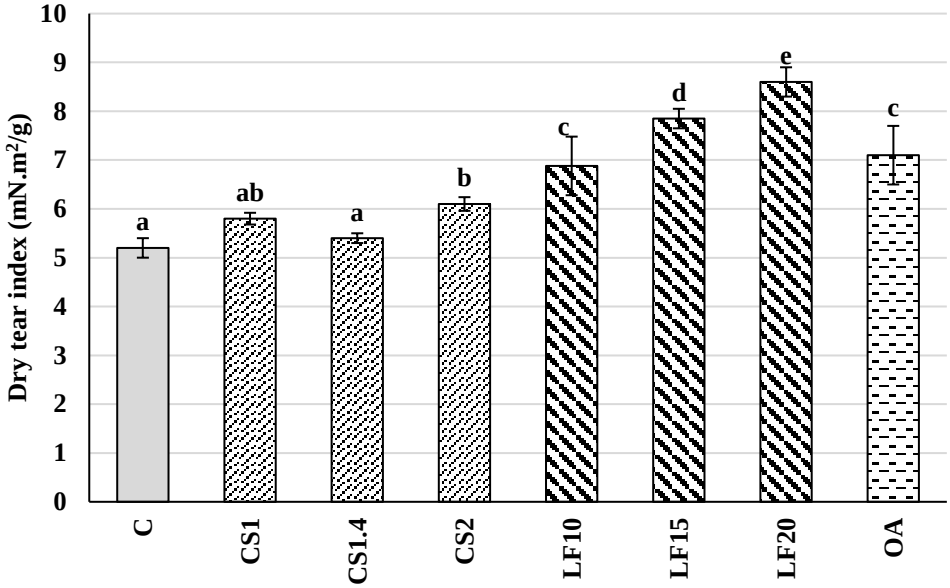
میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ در حالت خشک (شکل ۶) با افزودن ۱ درصد نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ کارتن کهنه ۱۵/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. اما با افزایش بیشتر مقدار نشاسته کاتیونی تا ۲ درصد وزنی، روند این شاخص به‌صورت کاهشی بوده که از نظر آماری نیز معنی‌دار نیست. با افزایش مقدار خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی، شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ نیز روند افزایشی داشته است. بیشترین میزان افزایش شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ به میزان ۱۵ و ۴۶ درصد به‌ترتیب مربوط به استفاده از ۱ درصد نشاسته کاتیونی ذرت و ۲۰ درصد خمیر کاغذ الیاف بلند بازیافتی نسبت به نمونه شاهد بوده است. استفاده از تیمار بهینه مواد افزودنی شیمیایی (تیمار OA) نیز باعث افزایش قابل توجه این شاخص نسبت به نمونه شاهد شده که با کاغذ حاوی ۲۰ درصد الیاف بلند بازیافتی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارد و توسط گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل d قرار گرفته است.



شکل ۶- اثر خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی، نشاسته کاتیونی ذرت و تیمار بهینه افزودنی‌های شیمیایی بر شاخص مقاومت به ترکیدن خشک

Figure 6. Effect of recycled long fiber pulp and cationic corn starch, and optimal treatment of chemical additives on dry Burst Index

شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار نشاسته کاتیونی ذرت از ۱ تا ۲ درصد، شاخص مقاومت به پاره‌شدن خشک ابتدا کاهش و بعد افزایش یافته است، اما این تغییرات نسبت به افزودن ۱ درصد نشاسته از نظر آماری معنی‌دار نیست. از سوی دیگر، شاخص مقاومت به پاره‌شدن خشک با افزایش مقدار خمیرکاغذ الیاف بلند نیز افزایش معنی‌داری دارد و بیشترین افزایش این شاخص مربوط به استفاده از ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند به میزان ۶۵ درصد نسبت به نمونه شاهد است. استفاده از سطوح بهینه مواد افزودنی شیمیایی (تیمار OA) نیز باعث افزایش معنی‌دار این شاخص نسبت به نمونه شاهد شده که با کاغذ حاوی ۱۰ درصد الیاف بلند بازیافتی از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارد و براساس گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل c قرار می‌گیرد.



شکل ۷- اثر خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی، نشاسته کاتیونی ذرت و سطح بهینه افزودنی‌های شیمیایی بر شاخص پاره شدن خشک کاغذ

Figure 7. Effect of recycled long fiber pulp and cationic corn starch, and optimal treatment of chemical additives on tear index

بحث

جذب آب کاغذ

با استفاده از ۱ تا ۳ درصد AKD، مقدار جذب آب (کاب) کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد به‌ترتیب از ۱۳/۷۹ تا ۱۱/۷۱ گرم بر مترمربع یعنی تا حدود ۹۰ درصد کاهش یافت. جذب آب (کاب) کاغذهای بسته‌بندی مورد استفاده برای فراورده‌هایی که باید در سردخانه یا فریزر نگهداری شوند و بیشتر کاغذهای کرافت مورداستفاده برای ساک‌های کاغذی معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ گرم بر مترمربع است (Kirwan, 2013). ازاین‌رو، استفاده از تیمار بهینه افزودنی‌های شیمیایی توانسته است مقدار جذب آب کاغذ دست‌ساز تهیه شده از کارتن کنگره‌ای کهنه را تا محدوده کاملاً مناسبی (حدود ۲۰ گرم بر مترمربع) کاهش دهد.

مقاومت‌های تر کاغذ

افزودن رزین مقاومت تر، موجب افزایش معنی‌دار مقاومت‌های تر کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد شد. بیشترین افزایش، مربوط به استفاده از ۳ درصد رزین مقاومت تر برای مقاومت کششی در حالت تر نسبت به شاهد است. این رزین توانسته است مقاومت کششی، ترکیدن و پاره‌شدن باقیمانده در کاغذ بازیافتی را در حالت تر به‌ترتیب در حدود ۲۵، ۴۶ و ۵۸ درصد نسبت به حالت خشک حفظ کند و طبق نظر Chan (۱۹۹۴) مبنی بر حفظ ۲۰ تا ۴۰ درصد مقاومت‌های خشک، عملکرد مناسبی داشته است. کاغذ لاینر مورد استفاده در شرایط مرطوب باید حداقل ۳۰ درصد استحکام اولیه خود را در صورت اشباع شدن با آب حفظ کند (Kirwan, 2013). هرچند رزین‌های مقاومت تر کاغذ معمولاً برای ایجاد استحکام ورقه در حالت تر اضافه می‌شوند، استحکام مکانیکی شبکه ایجاد شده با اتصالات عرضی توسط رزین، اغلب به‌طور غیرمستقیم به استحکام ورقه در حالت خشک نیز کمک می‌کند (Francolini *et al.*, 2023).

مقایسه مقاومت کششی باقیمانده در حالت تر کاغذهای دست‌ساز تیمار شده با ۳ درصد رزین مقاومت تر نشان داد که این مقاومت حدود ۱۰ برابر کاغذهای تیمار شده با پلی‌اکریل آمید گلی‌اکسال‌دارشده (G-PAM) ارائه شده در تحقیق Hamzeh و همکاران (۲۰۱۴) بوده و حکایت از تأیید عملکرد

کاملاً مناسب رزین مورد استفاده دارد. تلاش‌های زیادی برای کاهش اثر خستگی (Creep) در هنگام پشته‌سازی بسته‌بندی‌های کاغذی با استفاده از عوامل مختلف اتصال عرضی انجام شده است، این تلاش‌ها به تولید رزین های مناسب مقاومت تر اختصاص یافته است. مقاومت فشاری کارتن (Box compression test (BCT)) نیز با افزایش مقدار رزین مقاومت تر افزایش می‌یابد. با توجه به نسبت افزایش این مقاومت، افزودنی‌های مقاومت خشک کاغذ اغلب با رزین‌های بهبوددهنده مقاومت تر کاغذ ترکیب می‌شوند تا به سطوح بالایی از استحکام مرطوب برسند (Lindström *et al.*, 2005).

مقاومت‌های خشک کاغذ

نتایج نشان دادند که همه مقاومت‌های کاغذ دست‌ساز در حالت خشک با افزودن نشاسته کاتیونی و خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی نسبت به نمونه شاهد، به‌صورت مجزا افزایش یافتند. افزایش بیشینه مقاومت‌های کاغذ در حالت خشک، با افزودن ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی برای مقاومت به پاره شدن حاصل شد. طول الیاف عامل مهمی برای مقاومت به پاره شدن کاغذ است. الیاف بلندتر مقاومت در برابر پارگی را بهبود می‌بخشد، به‌ویژه برای کاغذهای بازیافتی با پیوندهای ضعیف (Koubaa and Koran, 2018). استفاده از افزودنی‌های شیمیایی مقاومت کاغذ در حالت خشک، مانند نشاسته کاتیونی، می‌تواند به‌عنوان جایگزین پالایش خمیرهای کاغذ بازیافتی که به‌دلیل وجود نرمه زیاد معمولاً پالایش نمی‌شوند، مطرح شود. جایگزینی پالایش خمیرکاغذ با استفاده از عوامل تقویت‌کننده خشک، می‌تواند مقدار مواد جامد را پس از پرس مرطوب افزایش داده و در ماشین‌های کاغذ با محدودیت در خشک‌کن، بهره‌وری انرژی را افزایش دهد (Lindström *et al.*, 2005). مقادیر مقاومت‌های خشک کاغذ و نسبت افزایش آن با افزودن نشاسته کاتیونی ذرت، در محدوده نتایج افزودن نشاسته کاتیونی گندم (Mosavi *et al.*, 2013) است، اما از میانگین مقاومت‌های خشک حاصل شده با افزودن نشاسته کاتیونی سیب‌زمینی کمتر است. البته، بین میانگین‌های مقاومت کششی خشک کاغذ با افزودن ۱ تا ۲ درصد نشاسته کاتیونی، مشابه تحقیق انجام شده توسط (Hamzeh *et al.*, 2013) اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، در نتیجه استفاده از ۱ درصد نشاسته را می‌توان سطح بهینه استفاده از این ماده در نظر گرفت. نشاسته به‌عنوان ماده چسبنده عمل کرده و از طریق گسترش پیوندهای آمیدی در طول فرایند خشک‌شدن کاغذ، قدرت اتصال بین الیاف را افزایش می‌دهد. نشاسته کاتیونی دارای بار الکتریکی مثبت، جاذب الیاف و پرکننده‌های (Fillers) دارای شارژ منفی شده و قرار گرفتن آنها بر سطح الیاف باعث کاهش ظرفیت زتا، ارتباط مناسب بین الیاف، نرمه‌ها و پرکننده‌ها، تقویت دلمه شدگی و بهبود ماندگاری در هنگام گذر کاغذ می‌شود. همچنین نشاسته کاتیونی سبب احیای نقاط از دست رفته در خمیرکاغذ بازیافتی شده و بدین ترتیب سبب افزایش قابلیت اتصال و نیز افزایش سطح نسبی پیوند بین الیاف بهبود یافته و در نتیجه موجب بهبود مقاومت به ترکیدن در حالت خشک می‌شود. اگر نشاسته کاتیونی به‌طور صحیح استفاده شود، همه ویژگی‌های کاغذ همزمان با بهبود ماندگاری (Retention) و سرعت ماشین کاغذ افزایش می‌یابد (Ghaffari, 2013 *et al.*; Soleimani *et al.*, 2015).

تیمار بهینه افزودنی‌های شیمیایی

براساس نتایج حاصل از استفاده افزودنی‌های شیمیایی به‌طور مجزا در خمیرکاغذ OCC، تیمار بهینه شامل استفاده از ۱ درصد نشاسته کاتیونی، ۱ درصد AKD و ۳ درصد رزین مقاومت تر براساس ملاحظات فنی- اقتصادی انتخاب شد. استفاده از این تیمار نشان داد که میانگین مقاومت‌های کششی و ترکیدن در حالت خشک کاغذهای دست‌ساز، با افزودن ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی اختلاف معنی‌داری ندارد و میانگین مقاومت به پاره‌شدن کاغذ دست‌ساز با تیمار ۱۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی در یک گروه آماری قرار گرفته است. این موضوع در حالی است که استفاده از تیمار بهینه، نسبت به افزودن رزین مقاومت تر، تأثیر بهتری بر مقاومت‌های ترکیدن و پاره‌شدن تر کاغذهای دست‌ساز گذاشته و در مورد مقاومت به کشش تر، اختلاف بین دو تیمار

نیز معنی‌دار نیست. تشکیل پیوندهای بتا–کتو استر از نوع کووالانسی بین AKD و گروه‌های هیدروکسیل سلولز و همی سلولز سبب تشکیل یک لایه آبگریز روی سطح الیاف خمیرکاغذ می‌شود (Varshoei *et al.*, 2013; chen *et al.*, 2019; Khosravani *et al.*, 2016).

چنین به نظر می‌رسد که اختلاط دو ماده دیگر شیمیایی افزودنی با AKD، موجب کاهش اثر آبگریزی این لایه شده و کاهش معنی‌دار جذب آب تا حدود ۲۰ گرم بر مترمربع با استفاده از تیمار بهینه حاصل شده است که البته برای کارتن های فریزری کاملاً مناسب است.

نتیجه‌گیری

- استفاده از ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند بازیافتی لفاف چای، موجب بهبود قابل توجه مقاومت‌های خشک خمیرکاغذ کارتن کهنه شد.
- افزودن ۱ درصد نشاسته کاتیونی ذرت به‌طور مجزا، فقط موجب بهبود معنی‌داری بر مقاومت به ترکیدن خشک خمیرکاغذ کارتن کهنه شده است.
- استفاده از ۳ درصد رزین مقاومت تر به‌طور مجزا، موجب بهبود قابل توجه مقاومت‌های تر خمیرکاغذ کارتن کهنه شده است.
- افزودن ۱ درصد AKD به‌طور مجزا، موجب کاهش قابل توجه جذب آب خمیرکاغذ کارتن کهنه تا حدود ۹۰ درصد شده است.
- به‌کارگیری تیمار بهینه اختلاط افزودنی‌های شیمیایی شامل نشاسته کاتیونی ذرت (۱ درصد)، AKD (۱ درصد) و رزین مقاومت تر (۳ درصد) برای بهبود مقاومت‌های تر و خشک کاغذ ساخته شده از خمیرکاغذ کارتن کهنه که به‌دلیل وجود نرمه زیاد معمولاً پالایش نمی‌شوند، برای استفاده در بسته بندی فراورده‌های سردخانه‌ای و فریزری توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

-Ashori, A. and Nourbakhsh, A., 2008. A comparative study on mechanical properties and water absorption behavior of fiber-reinforced polypropylene composites prepared by OCC fiber and aspen fiber. *Polymer Composites*, 29(5), pp.574-578.
-Bhardwaj, N.K., Kumar, S. and Bajpai, P.K., 2005. Effect of zeta potential on retention and drainage of secondary fibres. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 260(1-3), pp.245-250.
-Bhardwaj, S., Bhardwaj, N.K. and Negi, Y.S., 2016. Effect of chitosan and cationic starch as wet-end additives to enhance the strength properties of paperboard using OCC recycled pulp. *IPPTA-The Official International Journal*, 28(4), pp.164-172.
-Charani, P.R. and Moradian, M.H., 2019. Utilization of cellulose nanofibers and cationic polymers to improve breaking length of paper. Cellul Chem Technol, 53(7–8), pp.767-774.
-Chan, L.L., 1994. Wet-strength resins and their application. *Tappi Pr.*
-Chen, H., Yang, J., Hu, Z., Zheng, B., Sun, J., Wo, Q., Zeng, X., Qiu, X., Song, C. and Zhu, R., 2019. Effects of AKD sizing on the morphology and pore distribution properties of OCC fibers. *Journal of Nanomaterials*, pp.1-6.
-Dash, S. and Swain, S.K., 2013. Synthesis of thermal and chemical resistant oxygen barrier starch with reinforcement of nano silicon carbide. *Carbohydrate polymers*, 97(2), pp.758-763.
-Dunlop-Jones, N., 1997. Paper chemistry, second edition, Blackie academic & professional, London, UK. Chapter 7 Wet -strength chemistry, 265 p.
-Francolini, I., Galantini, L., Rea, F., Di Cosimo, C. and Di Cosimo, P., 2023. Polymeric Wet-Strength Agents in the Paper Industry: An Overview of Mechanisms and Current Challenges. International Journal of Molecular Sciences, *24*(11), p.9268.
-Ghasemian, A. and Khalili, A., 2011. Principle and methods of paper recycle. Tehran. (In Persian)
-Grigoriev, V., Strengell, K., Virtanen, M. and Hietaniemi, M., 2012. Strength chemistry for board and tissue production: Scientific outlook and end applications.
-Grommers, H.E., Van der Krogt, D.A., Miller, J. and Whistler, R., 2009. Starch: Chemistry and Technology. *Elsevier Inc*, 511, p.539.
-Ghaffari, M., Ghasemian, A., Resalati, H. and Asadpour, G., 2012. Determination of the optimum use of cationic starch on the basis of the mechanical strengths of mixed OCC and virgin NSSC pulps. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, *2*(2), pp.121-133. (In Persian)
-Hamzeh, Y., Sabbaghi, S., Ashori, A., Abdulkhani, A. and Soltani, F., 2013. Improving wet and dry strength

properties of recycled old corrugated carton (OCC) pulp using various polymers. *Carbohydrate polymers*, 94(1), pp.577-583.

-Hamzeh, Y., Najafi, S.M.H., Hubbe, M.A., Salehi, K. and Firouzabadi, M.R.D., 2012. Recycling potential of unbleached and bleached chemical pulps from juvenile and mature wood of Populus deltoides. 155-161.

-Karimi, L., Aryaie Monfared, M.H. and Afra, E., 2022. Influence of Cationic Starch and Nano-Wood addition on improving the Old Corrugated Containers (OCC) pulp properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 12(4), pp.481-493. (In Persian)

-Kirwan, M.J. ed., 2012. Handbook of paper and paperboard packaging technology. *John Wiley & Sons.*

-Khosravani, A., Asadollahzadeh, M., Rahmaninia, M., Bahramifar, N. and Azadfallah, M., 2016. The effect of external and internal application of organosilicon compounds on the hydrophobicity of recycled OCC paper. *BioResources*, 11(4), pp.8257-8268.

-Koubaa, A. and Koran, Z., 2018. Effect of press-drying parameters on paper properties. *Pulp and paper processing*, pp.87-107.

-Marcello, C. and Salam, A., 2023. A biobased synthesized N-hydroxymethyl starch-amide for enhancing the wet and dry strength of paper products. *Carbohydrate Polymers*, 299, p.120194.

-Mosavi, N., Nazarnezhad, N.A. and Zabihzadeh, M., 2013. Study of the Performance of the Cationic Startch of Potatoes and Wheat in Improving the Strength Properties of the Paper Produced from Old Corrugated Cartons. *Forest and Wood Products*, *66*(1), pp.125-133.

-Schier, F., Morland, C., Dieter, M. and Weimar, H., 2021. Estimating supply and demand elasticities of dissolving pulp, lignocellulose-based chemical derivatives and textile fibres in an emerging forest-based bioeconomy. *Forest Policy and Economics*, 126, p.102422.

-Sharma, D., Kumar, V. and Sharma, P., 2020. Application, synthesis, and characterization of cationic galactomannan from ruderal species as a wet strength additive and flocculating agent. *ACS omega*, 5(39), pp.25240-25252.

-Soleimani, R., Asadpour,G, Resaleti, H., 2015. The effect of using cationic starch on increasing old corrugated container dewatering and strength properties, collection of papers of first national conference of wood and lignocellulosic materials, May, Gonbad Kavous University. (In Persian)

-Tajik, M., Torshizi, H.J., Resalati, H. and Hamzeh, Y., 2018. Effects of cationic starch in the presence of cellulose nanofibrils on structural, optical and strength properties of paper from soda bagasse pulp. *Carbohydrate polymers*, 194, pp.1-8.

-Lindström, T., Wågberg, L. and Larsson, T., 2005, September. On the nature of joint strength in paper-A review of dry and wet strength resins used in paper manufacturing. In 13th fundamental research symposium (Vol. 1, pp. 457-562). Cambridge, UK: The Pulp and Paper Fundamental Research Society.

-Siqueira, E.J., 2012. Polyamidoamine epichlorohydrin-based papers: mechanisms of wet strength development and paper repulping (Doctoral dissertation, Grenoble).

-Varshoei, A., Javid, E., Rahmaninia, M. and Rahmany, F., 2013. The performance of alkylketene dimer (AKD) for the internal sizing of recycled OCC pulp. *Lignocellulose Journal*, *2*(1), pp.316-326.

-Yadollahi, R., Hamzeh, Y., Mahdavi, H. and Pourmousa, S., 2015. Influence of Glyoxylated Polyacrylamide on Dry and Wet Web Strengths of Paper.

-Yang, W., Ding, Y., Liang, J., Li, C., Bian, H., Dai, H. and Hu, C., 2023. Constructing carboxymethyl cellulose-metal ion crosslinked networks in old corrugated recycled paper enhances its strength and wet stability. *Cellulose*, pp.1-13.

-Yoon, S.Y. and Deng, Y., 2006. Clay–starch composites and their application in papermaking. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(2), pp.1032-1038.