Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Investigation of independent and combined effects of refining and additives on the properties of office deinked paper

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

1. Ph.D. Graduate, Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: bgholampoor@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Wood and Forest Products Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO). Tehran, Iran. E-mail: smahdavi@rifr-ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 09.27.2023
Revised: 10.14.2023
Accepted: 10.17.2023

Keywords:
Additives,
De-inked paper pulp,
Refining,
Water absorption,
Wet strength

ABSTRACT

Background and Objectives: Paper recycling is currently considered as one of the most important solutions for environmentally friendly and sustainable paper production. This process not only reduces the consumption of resources like water, energy, and virgin fibers but also contributes leads to a decrease in pollution. As a result, the paper recycling rate is continuously increasing in various countries, further emphasizing its importance in achieving a greener and more sustainable paper industry. Recycled paper is predominantly utilized in the production of packaging paper and board. However, it is crucial for these paper products to possess not only dry strength but also the ability to maintain the necessary strength when exposed to wet conditions, especially for packaging goods that require cold or freezing storage. To achieve this, various techniques such as refining and additives consumptions can be employed. The objective of this study is to explore the individual impact of each factor, as well as their interaction effects, in order to enhance the properties of office deinked pulp (DIP) for the production of packaging paperboard in order to improve the overall characteristics and performance of the packaging paperboard.

Materials and Methods: DIP, sourced from Latif Paper Company, was subjected to refining until it reached an SR value of 30. The additives including cationic corn starch (at four levels of 1%, 1.4%, 2%, and 3% based on the dry weight of pulp), wet strength resin (at three levels of 1%, 2%, and 3% based on the dry weight of pulp), and AKD (at three levels of 1%, 2%, and 3% based on the dry weight of pulp), were individually incorporated into the pulp suspension. Handsheets were made with the basis weight of 120 g/m^2. To evaluate and compare the impact of the optimal additive treatment on the treated pulp, various tests were conducted on the handsheets. These tests included measuring water absorption, tensile strength, burst strength, tear strength, wet strength retention, and absolute wet strength retention. The relative retention strength was determined by assessing the independent effects of each treatment on the tensile strength, burst strength, and tear strength of handsheets under both wet and dry conditions.

Results: The impact of refining on the strength of handsheets made from DIP was found to be statistically significant in dry conditions. The results demonstrated that incorporating 2wt% cationic corn starch into the refined pulp led to the improved performance, particularly in terms of tear strength, compared to the independent factor of refining alone. Additionally, the

utilization of wet strength resin and AKD showed a remarkable increase in the strength of handsheets under wet conditions, as well as a significant reduction in water absorption when compared to the control sample. Furthermore, employing both refining and the optimal combination treatment of additives - including 2wt% cationic corn starch, 3wt% wet strength resin, and 1wt% AKD - simultaneously resulted in a significant enhancement in both the wet and dry strength of the handsheets, as well as a decrease in water absorption. This indicates that the combined treatment presented a positive effect on the overall performance of the handsheets.

Conclusions: The application of the optimal combination treatment, which involved refining DIP and adding additives simultaneously, resulted in the improvement of all handsheet properties when compared to the control sample. This enhanced handsheet could be suitable for packaging products that require refrigeration or freezing conditions. In dry state, the strength of the handsheets exceeded the standard strength of bleached kraft paper as per Iran national standard no. 2875, with the exception of tear strength. The evaluation of absolute relative retention wet strength indicated that the performance of the combination treatment was highly favorable compared to previous research reports. The combination treatment remarkably reduced water absorption of the handsheet by 22 g/m^2, making it suitable for paper storage in freezing conditions.

Cite this article: Gholampoor, Behnam, Mahdavi, Saeed. 2023. Investigation of independent and combined effects of refining and additives on the properties of office deinked paper. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (3), 149-167.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2023.21774.2038
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

بررسی اثرهای مستقل و ترکیبی پالایش و مواد افزودنی بر بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده اداری

بهنام غلامپور[۱]، سعید مهدوی*[۲]

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم و تکنولوژی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: bgholampoor@ut.ac.ir

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

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

واژه‌های کلیدی:
پالایش،
جذب آب،
خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده،
مقاومت تر،
مواد افزودنی

چکیده

سابقه و هدف: در حال حاضر، بازیافت کاغذ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین راه‌کارهای تولید زیست‌محیطی و پایدار محصولات کاغذی مطرح است. علاوه بر کاهش مصرف منابع مختلف مثل آب، انرژی و نیز الیاف بکر با استفاده از این فرآیند، نرخ بازیافت کاغذ به دلیل آلایندگی‌های کم‌تر نیز در کشورهای مختلف همواره رو به افزایش است. قسمت اعظم کاغذهای بازیافتی معمولاً برای تولید کاغذ و مقوای بسته‌بندی استفاده می‌شود. برای بسته‌بندی محصولاتی که باید در سردخانه و فریزر نگهداری شوند، کاغذ و مقوا علاوه بر دارا بودن مقاومت در حالت خشک باید بتوانند مقاومت‌های لازم بسته‌بندی در محیط مرطوب را نیز تأمین کنند. به این منظور، می‌توان از روش‌های مختلفی مثل پالایش و نیز مواد افزودنی استفاده کرد. این پژوهش اثر به‌کارگیری هر یک از این روش‌ها را به‌صورت مستقل و نیز ترکیبی در راستای بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ جوهرزدایی شده اداری برای تولید مقوای بسته‌بندی بررسی می‌کند.

مواد و روش‌ها: خمیرکاغذ جوهرزدایی شده اداری از شرکت کاغذسازی لطیف تهیه شد. پس از پالایش این خمیرکاغذ تا درجه آبگیری SR=۳۰، مواد افزودنی شامل نشاسته کاتیونی ذرت (با سطوح ۱، ۱/٤، ۲ و ۳ درصد)، رزین بهبوددهنده مقاومت تر کاغذ (با سطوح ۱، ۲ و ۳ درصد) و AKD (با سطوح ۱، ۲ و ۳ درصد) بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ و به‌صورت جداگانه جهت ساخت ورقه دست‌ساز آزمایشگاهی با گراماژ ۱۲۰ گرم بر مترمربع به سوسپانسیون خمیرکاغذ اضافه شد. پس از بررسی تأثیر مستقل هر تیمار بر مقاومت‌های کششی، ترکیدن و پاره شدن کاغذهای دست‌ساز در دو حالت تر و خشک، مقاومت تر

باقی‌مانده نسبی اندازه‌گیری شد. با مشخص شدن مقادیر بهینه هر یک از تیمارهای مستقل بر جذب آب و مقاومت‌های کاغذ، اثر تیمار ترکیب بهینه نیز بر ویژگی‌های خمیرکاغذ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: اثر مستقل پالایش بر مقاومت‌های کاغذهای دست‌ساز در حالت خشک ساخته‌شده از خمیرکاغذ جوهرزدایی شده اداری، نسبت به شاهد معنی‌دار است. نتایج نشان داد که استفاده از ۲٪ نشاسته کاتیونی در خمیرکاغذ پالایش‌شده می‌تواند عملکرد بهتری بر افزایش مقاومت‌های کاغذ در حالت خشک به‌خصوص مقاومت به پاره شدن، نسبت به تیمار مستقل پالایش بگذارد. هم‌چنین استفاده از رزین مقاومت تر و AKD نیز به‌طور مستقل، به ترتیب موجب افزایش معنی‌دار مقاومت‌های کاغذ در حالت تر و کاهش معنی‌دار جذب آب آن نسبت به شاهد شده است. استفاده از پالایش و سطوح بهینه مواد افزودنی شامل ۲٪ نشاسته کاتیونی ذرت، ۳٪ رزین مقاومت تر و ۱٪ AKD در تیمار ترکیب بهینه، به‌طور هم‌زمان سبب بهبود معنی‌دار مقاومت‌های تر، خشک و جذب آب کاغذهای دست‌ساز شده است.

نتیجه‌گیری: با اعمال تیمار ترکیب بهینه شامل پالایش خمیرکاغذ جوهرزدایی شده اداری و مواد افزودنی، همه خواص کاغذهای دست‌ساز به‌طور هم‌زمان نسبت به شاهد بهبود بسیار مناسبی پیدا کرد، به‌طوری‌که برای بسته‌بندی فرآورده‌های سردخانه‌ای و فریزری می‌توان از آن استفاده کرد. مقاومت‌های کاغذهای دست‌ساز در حالت خشک به‌جز مقاومت به پاره شدن، نسبت به مقاومت‌های مجاز کاغذ کرافت رنگبری شده طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۷۵ برتر است. اندازه‌گیری مقاومت‌های تر باقی‌مانده نسبی مطلق نشان داد که عملکرد تیمار ترکیب بهینه نسبت به سایر سوابق تحقیقاتی بسیار مناسب می‌باشد. هم‌چنین استفاده از این تیمار موجب کاهش جذب آب کاغذ تا حدود ۲۲ گرم بر مترمربع شده است که برای شرایط نگهداری کاغذ در فریزر مناسب است.

استناد: غلامپور، بهنام، مهدوی، سعید (۱۴۰۲). بررسی اثرهای مستقل و ترکیبی پالایش و مواد افزودنی بر بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده اداری. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۰ (۳)، ۱۶۷-۱۴۹.
DOI: 10.22069/JWFST.2023.21774.2038

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

در سالیان اخیر، به دلایل متعددی از جمله کاهش منابع جنگلی و در نتیجه کمبود منابع چوبی، افزایش جمعیت و ملاحظات زیست‌محیطی، روش‌های تأمین مواد اولیه مناسب جهت مصرف در صنایع کاغذسازی دستخوش تغییراتی شده است. یکی از این روش‌ها، بازیافت کاغذ می‌باشد که مورد توجه ویژه‌ای است (۱). استفاده از کاغذ به‌ویژه در بخش بسته‌بندی به‌دلیل سبکی وزن، جابجایی آسان، انعطاف‌پذیری، سازگاری با محیط‌زیست، پایداری، سهولت تبدیل و قابلیت بازیافت، روند افزایشی داشته است (۲). کاغذهای باطله اداری از جمله منابع الیاف شیمیایی دسته دوم می‌باشند که قابلیت استفاده مجدد جهت تولید کاغذ چاپ و تحریر را دارا می‌باشند (۳). کاغذهای باطله و الیاف بازیافتی جهت تولید مقوا و کاغذهای بسته‌بندی مستلزم داشتن حد معینی از مقاومت‌ها از جمله مقاومت کششی، ترکیدن، پاره شدن، جذب آب و سفتی مناسب و خاصیت ممانعتی برای عبور گازها می‌باشند (٤، ٥). افزایش تقاضا برای کاغذ و مقوا، پژوهش‌گران را بر آن داشته است تا راه‌حل مناسب و با صرفه اقتصادی جهت استفاده از انواع مواد لیگنوسلولزی و مواد افزودنی با هدف تولید محصولات با ارزش افزوده بیش‌تر بیابند (٦). مواد و روش‌های مختلف از جمله پالایش، اضافه نمودن الیاف بکر، استفاده از مواد افزودنی شیمیایی و غیره با هدف بهبود کیفیت اتصال الیاف به یکدیگر و بهبود ویژگی‌های کاغذ و مقوا همواره مورد استفاده قرار می‌گیرند (٤). پالایش خمیرکاغذ[1] به‌عنوان یک تیمار مکانیکی خمیرکاغذ توسط پالایشگرهای[2] مناسب در صنعت انجام می‌شود. طی این فرآیند، تغییرات در الیاف تحت نیروهای فشاری و کششی قرار گرفته و بسته به ویژگی‌های اولیه الیاف، درصد خشکی خمیرکاغذ و ویژگی‌های پالایشگر، منجر به تقویت الیاف به‌ویژه به لحاظ پیوندیابی می‌شود (۷). افزودنی‌های شیمیایی بهبوددهنده مقاومت‌های کاغذ به دو دسته بهبوددهنده در حالت خشک مانند نشاسته و بهبوددهنده در حالت تر مانند پلی‌آمید اپی‌کلروهیدرین (PAE)، پلی اکریل آمید (PAM) و پلی اتر ایمید (PEI) تقسیم‌بندی می‌شوند. نشاسته به‌عنوان رایج‌ترین و اقتصادی‌ترین افزودنی تقویت‌کننده مقاومت‌های خشک کاغذ، نوعی پلی‌ساکارید بوده که به لحاظ ساختاری شبیه سلولز می‌باشد (۸). افزودنی‌های شیمیایی بهبوددهنده مقاومت‌های خشک کاغذ سبب افزایش استحکام پیوند، سطح پیوند و استحکام کاغذ در حالت خشک‌شده و به‌عنوان جایگزین پالایش خمیرکاغذ مطرح هستند. این موضوع سبب کاهش همکشیدگی در جهت عرض ماشین کاغذ (CD) و در نتیجه بهبود مقاومت لبه‌های کاغذ، صافی سطح و ثبات ابعادی آن می‌شود (۹). یونیزه کردن نشاسته به‌واسطه عوامل کاتیونی با هدف اتصال به مواد با سطح آنیونی مثل الیاف سلولزی انجام می‌شود (۱۰، ۱۱). نشاسته کاتیونی به‌واسطه بارهای مثبت و تشکیل پیوندهای هیدروژنی و الکترواستاتیکی، برای حفظ الیاف و نرمه‌ها، تقویت مقاومت خشک کاغذ و بهبود شکل‌گیری کاغذ و ویژگی‌های مکانیکی آن به‌صورت سنتی بین ۱ تا ۲ درصد جهت تقویت در مقیاس صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۲، ۱۳). مقاومت تر، قابلیت حفظ مقاومت و استحکام کاغذ در شرایط مرطوب از جمله قرار گرفتن در مناطق حاره‌ای، یخچال و فریزر، یکی از ویژگی‌های کلیدی جهت افزایش ارزش افزوده کاغذ می‌باشد. استفاده از رزین‌های مقاومت تر مصنوعی در طول فرآیند تولید کاغذ، سبب حفاظت و جلوگیری از متلاشی شدن

1- Pulp beating
2- Refiners

کاغذ در معرض رطوبت به‌ویژه جهت کاربرد در بخش بسته‌بندی میوه، سبزیجات و فرآورده‌های دریایی می‌شود. محصولات کاغذی با مقاومت تر شامل تولیداتی است که در تماس با رطوبت و محصولات مرطوب قرار می‌گیرند مثل حوله‌های بهداشتی و آشپزخانه، دستمال کاغذی، محصولات بسته‌بندی (بسته‌بندی مایعات، ظروف آسپتیک، انواع بسته‌بندی برای مواد غذایی و سایر موارد با اهداف خاص مانند چای کیسه‌ای، فیلتر قهوه، اسکناس و غیره (۱٤). مکانیسم اثر رزین مقاومت تر بسته به نوع آن متفاوت است. به‌عنوان مثال، مکانیسم عملکرد رزین‌های مصنوعی همانند پلی اکریل آمید، تشکیل پیوندهای کووالانسی با الیاف سلولزی در کاغذ و در نتیجه ایجاد یک شبکه قوی مقاوم در برابر تخریب کاغذ در تماس با آب می‌باشد (۲). با قرار گرفتن کاغذ و مقوا تحت شرایط محیطی با رطوبت زیاد، آب موجب تورم الیاف و شکستن پیوندهای بین لیفی می‌شود. در نتیجه بین ۳ تا ۱۰ درصد از مقاومت‌ها نسبت به استحکام اولیه در حالت خشک (در رطوبت نسبی ۵۰ درصد) باقی می‌ماند که بخشی از این استحکام باقی‌مانده ناشی از پیوندهای کووالانسی بین لیفی است. بیان مقاومت تر کاغذ به خشک به‌صورت درصد نسبی معمول است. درصورتی‌که 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 (۱۵). برخی رزین‌های مقاومت تر کارآمد ممکن است باعث حفظ مقاومت‌های تر کاغذ تا ۵۰ درصد مقاومت‌های خشک آن شوند. در محیط‌های مرطوب، مقاومت فشاری کاغذهای بسته‌بندی با کمک عملیات کاغذسازی شامل افزودن رزین‌های مقاومت تر، پرس مناسب ورقه مرطوب و خشک کردن آن، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی بهبود یابد (۹). استفاده از نانوالیاف سلولزی جهت تقویت خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده (شامل نسبت برابری از خمیر روزنامه و مجله باطله) سبب تقویت طول شکست نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد گردید (۱٦). هم‌چنین در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از ۱/۵ درصد نانوفیبر سلولزی سبب افزایش مقاومت کششی و سفتی در کاغذهای تولید شده از خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده گردید (۱۷). استفاده از خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده به میزان ۱۵ درصد در اختلاط با خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی سپیدار به‌همراه ۵ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند، سبب تولید کاغذ روزنامه با خواص مطلوب مکانیکی و نوری شد (۱۸). هم‌چنین استفاده از نسبت‌های مختلف خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده در تولید کاغذ چاپ و تحریر مشخص نمود که استفاده از ۵ تا ۱۵ درصد از این خمیرکاغذ در ترکیب با ۱۵ تا ۲۵ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند و ۷۰ درصد خمیرکاغذ مکانیکی پروکسید قلیایی (APMP) سبب تولید کاغذی با خواص مکانیکی و نوری مطلوب می‌شود (۳). استفاده از درصدهای مختلف کاغذ روزنامه کهنه و کاغذ باطله اداری تیمار شده با سود به همراه ۲۰ درصد خمیرکاغذ الیاف بلند نشان داد که در درصدهای بیش‌تر خمیرکاغذ باطله اداری جوهرزدایی‌شده، مقاومت به پاره شدن، طول پاره شدن و روشنی کاغذ ساخته‌شده بیش‌تر است (۱۹). استفاده از نسبت‌های مختلف خمیرکاغذ مجله بازیافتی جوهرزدایی‌شده و خمیرکاغذ مکانیکی- شیمیایی صنوبر دلتوئیدس در تولید کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی نشان داد که خمیرکاغذ مجله بازیافتی جوهرزدایی شده قابلیت جایگزینی به‌جای خمیرکاغذ الیاف بلند را تا ۵ درصد داراست (۲۰). بررسی اثر استفاده از نشاسته کاتیونی ذرت در ساخت کاغذهای آزمایشگاهی تهیه‌شده از خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده نشان داد با افزایش مصرف نشاسته کاتیونی ذرت، خواص فیزیکی و

مقاومت‌های کششی، ترکیدن و پاره شدن افزایش یافت (۲۱). به‌منظور بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خمیرکاغذ سفید جوهرزدایی‌شده مورد استفاده در ساخت کاغذهای بسته‌بندی، اثر مستقل پالایش و ترکیبی استفاده از مواد افزودنی شامل نشاسته کاتیونی ذرت، AKD[1] و رزین مقاومت تر در این مطالعه ارزیابی شد. خواص مورد بررسی شامل جذب آب، مقاومت‌های کششی، ترکیدن و پاره شدن کاغذهای دست‌ساز در دو حالت تر و خشک بودند که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از اعمال تیمارهای مستقل، سطوح بهینه آن‌ها برای تیمار ترکیبی مورد استفاده قرار گرفت. سپس نتایج حاصل از خواص مورد بررسی برای تیمارهای مستقل و ترکیبی مورد مقایسه آماری قرار گرفت و تیمارهای بهینه بر اساس نیازمندی‌های کاغذهای بسته‌بندی مورد استفاده در شرایط محیطی مرطوب، مشخص شد.

مواد و روش‌ها

خمیرکاغذ اداری جوهرزدایی‌شده از شرکت کاغذسازی لطیف با مشخصات ذکر شده در جدول ۱ تهیه شد. به‌منظور بهبود مقاومت‌های آن، ابتدا توسط یک کوبنده آزمایشگاهی (PFI mill beater) قابلیت آبگیری خمیرکاغذ به SR=۳۱ رسانده شد.

جدول ۱- مشخصات نوع خمیرکاغذ مورد استفاده.

Table 1. Technical specifications of deinked pulp.

خمیرکاغذ Pulp	ظاهر Appearance	اسیدیته pH	رطوبت (درصد) Moisture (%)	SR_0	تعداد دور کوبنده Beater revolution	SR
جوهرزدایی شده Deinked pulp	سفید White	7.1	74	25	750	31

مواد افزودنی شامل نشاسته کاتیونی ذرت، AKD و رزین مقاومت تر نیز از شرکت ایرانی سوبرارزین با مشخصات مندرج در جدول ۲ تهیه شدند. به‌منظور آماده‌سازی نشاسته کاتیونی ذرت، ابتدا محلول ٤ درصد نشاسته با آب مقطر تهیه شد و بشر حاوی محلول نشاسته روی یک همزن مغناطیسی تا دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد توأم با همزنی طی مدت زمان کل ۲۵ دقیقه به‌آرامی گرم شد. اختلاط ماده AKD با خمیرکاغذ جوهرزدایی شده با درصد خشکی ۲٦ درصد نیز طی مدت همزدن ٤ دقیقه انجام شد. رزین مقاومت تر با غلظت ۱۰ درصد و درصد خشکی خمیرکاغذ حدود ۲٦ درصد طی مدت همزدن ٤ دقیقه آماده شد. با هدف تعیین مقدار بهینه هر یک از این افزودنی‌ها، نشاسته کاتیونی ذرت در چهار سطح ۱، ۱/٤، ۲ و ۳ درصد، رزین عامل مقاومت تر در سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد و AKD در سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد به‌طور مجزا و بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۳). جهت اعمال تیمار ترکیب بهینه به ترتیب، نشاسته کاتیونی ذرت، رزین مقاومت تر و AKD به سوسپانسیون خمیرکاغذ هر یک طی مدت همزنی ٤ دقیقه اضافه شد.

1- Alkyl ketene dimer

جدول ۲- مشخصات مواد افزودنی مورد استفاده.

Table 2. Technical specifications of additives.

ماده افزودنی Additive	ظاهر Appearance	عملکرد مورد انتظار Expected Function	pH	ماده جامد (درصد) Solid content (%)	خاکستر (درصد) Ash (%)	دانسیته (گرم بر سانتی‌مترمکعب) Density (g/cm^3)
نشاسته کاتیونی Cationic starch	پودر سفید White powder	بهبود مقاومت‌های خشک Dry Strengths Improvement	6-8.5	94.26	2	0.64
AKD	مایع بی‌رنگ Colorless liquid	کاهش‌دهنده جذب آب Cobb Reducing	2.68	17	-	1.04
رزین مقاومت تر Wet strength resin	مایع زردرنگ Yellow liquid	رزین بهبوددهنده مقاومت تر Wet Strength Resin	4.06	12.5	-	1.08

جدول ۳- معرفی کد تیمارهای مورد استفاده.

Table 3. Introducing the code of treatments.

تیمار Treatment	سطح (درصد) Level (%)	کد Code	تیمار Treatment	سطح (درصد) Level (%)	کد Code
خمیرکاغذ شاهد Control pulp	--	C	AKD	1	A1
				2	A2
				3	A3
خمیرکاغذ پالایش‌شده Refined Pulp	--	RP	Wet strength	1	WS1
				2	WS2
				3	WS3
نشاسته کاتیونی Cationic starch	1	CS1	خمیرکاغذ پالایش‌شده با سطح بهینه ۳ ماده افزودنی Refined pulp with the optimal amount of three additives	CS2	OA
	1.4	CS1.4		A1	
	2	CS2		WS3	
	3	CS3			

آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی مربوط به خمیرکاغذ جوهرزدایی شده، طبق استانداردهای ملی ایران (جدول ٤) انجام شد. ساخت کاغذهای دست‌ساز آزمایشگاهی با گراماژ ۱۲۰ گرم بر مترمربع از خمیرکاغذهای با و بدون مواد افزودنی (شاهد) به‌ازای هر تیمار شامل ۱۰ تکرار نیز طبق روش استاندارد مربوطه انجام شد. نحوه محاسبه شاخص‌های مقاومت کششی، ترکیدن و پاره شدن کاغذ به ترتیب طبق روابط زیر انجام شد.

(۱)

شاخص مقاومت کششی = (مقاومت کششی /گراماژ)×۱۰۰۰

$$\text{Tensile Index}=\frac{Tensile\ Strength}{Grammage}\times 1000$$

(۲)

شاخص مقاومت به ترکیدن = مقاومت به ترکیدن /گراماژ

$$\text{Burst Index}=\frac{Burst\ Strength}{Grammage}$$

(۳)

شاخص مقاومت به پاره شدن = (مقاومت به پاره شدن /۸×۹/۸×تعداد آزمونه) /گراماژ

$$\text{Tear Index}=\frac{\frac{Tear\ Stength\times 8\times 9.8}{number\ of\ samples}}{Grammage}$$

هم‌چنین، مقاومت تر باقی‌مانده نسبی و مقاومت تر باقی‌مانده نسبی مطلق طبق رابطه‌های ٤ و ٥ محاسبه شد (۲۲).

(٤)

مقاومت تر باقی‌مانده نسبی = (مقاومت تر /مقاومت خشک خمیر پالایش‌شده)×۱۰۰

$$WSR\ (\%) = WS/DS_{RP}\times 100$$

(٥)

مقاومت تر باقی‌مانده نسبی مطلق = (مقاومت تر /مقاومت خشک شاهد)×۱۰۰

$$\text{Absolute WSR}\ (\%) = WS/DS_{C}\times 100$$

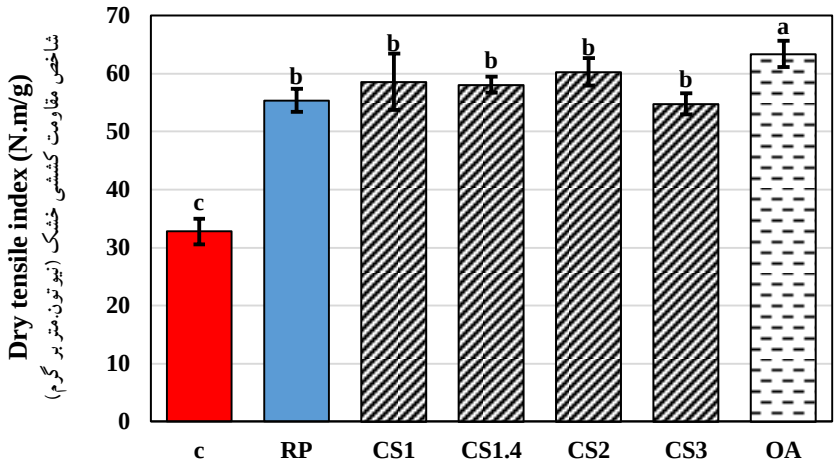
جدول ٤- روش آزمون‌های استاندارد مورد استفاده.

Table 4. Standard test methods.

شماره استاندارد ملی National Standard number	روش آزمون Test method	شماره استاندارد ملی National Standard number	روش آزمون Test method
INSO 475	جذب آب کاغذ Paper water absorption	INSO 3225	رطوبت خمیر و کاغذ Pulp and paper moisture content
INSO 1115	مقاومت کششی در حالت خشک Dry tensile strength	INSO 3789	قابلیت آبگیری خمیرکاغذ Freeness of pulp
INSO 1543	مقاومت کششی در حالت تر Wet tensile strength	INSO 4719-1	جدا کردن آزمایشگاهی الیاف خمیرکاغذ Laboratory disintegration of pulp fibers
INSO 7065	مقاومت به ترکیدن در حالت خشک Dry burst strength	INSO 3790-2	پالایش خمیرکاغذ Pulp beating
INSO 3070	مقاومت به ترکیدن در حالت تر Wet burst strength	INSO 3788-1	ساخت کاغذ دست‌ساز Handsheet making
INSO 1297	مقاومت به پاره شدن Tear strength	INSO 471	گراماژ کاغذ Basis weight of paper

نتایج و بحث

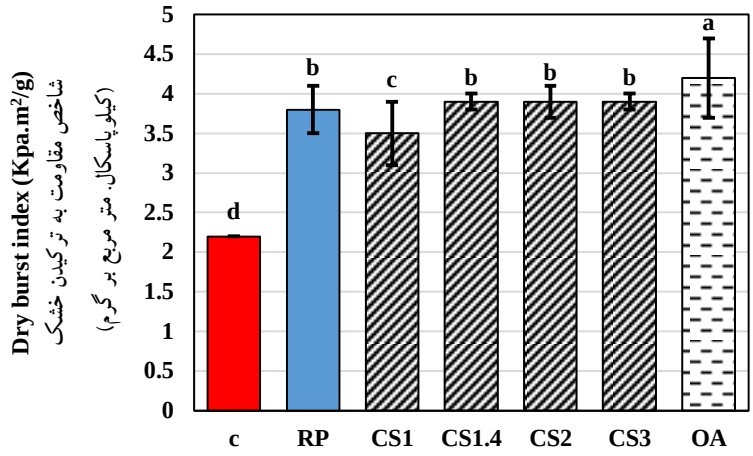
در شکل ۱ روند تغییرات میانگین‌های شاخص مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز در حالت خشک، با افزودن نشاسته کاتیونی ذرت بر خمیرکاغذ پالایش‌شده قابل‌مشاهده است. میانگین این شاخص با پالایش خمیرکاغذ نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته است. با افزودن نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ نیز میانگین شاخص کشش نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافته است اما روند تغییرات میانگین این شاخص با افزایش مصرف نشاسته کاتیونی از ۱ تا ۳ درصد، از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد و با میانگین شاخص کشش خمیرکاغذ پالایش‌شده، در گروه مستقل b قرار گرفته است. استفاده از تیمار ترکیب بهینه (تیمار OA) بیش‌ترین تأثیر را بر میانگین شاخص کشش خمیرکاغذ پالایش‌شده گذاشته و توانسته است ۹۳/۲۹ درصد شاخص کشش در حالت خشک کاغذ را نسبت به شاهد افزایش دهد و در گروه مستقل a قرار می‌گیرد.



شکل ۱- اثر پالایش خمیرکاغذ، نشاسته ذرت کاتیونی و تیمار ترکیب بهینه بر شاخص مقاومت کششی کاغذ در حالت خشک.

Figure 1. Effect of pulp beating, cationic corn starch, and optimal combination treatment on dry tensile index.

اثر پالایش خمیرکاغذ و افزودن نشاسته ذرت کاتیونی بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز در حالت خشک در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس، پالایش خمیرکاغذ و افزودن نشاسته کاتیونی سبب افزایش معنی‌دار این شاخص نسبت به شاهد شده است؛ اما بین اثر افزودن ۱/٤ تا ۳ درصد نشاسته کاتیونی (تیمارهای CS1.4 تا CS3) و پالایش خمیرکاغذ (تیمار RP) بر میانگین‌های این شاخص، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و در گروه مستقل b قرار می‌گیرند. بیش‌ترین تأثیر نشاسته کاتیونی بر شاخص مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذ پالایش‌شده نیز مربوط به تیمار ترکیب بهینه (تیمار OA) می‌باشد که به‌طور قابل‌توجهی توانسته است ۹۰/۹ درصد از شاخص ترکیدن در حالت خشک را نسبت به شاهد افزایش داده و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل a قرار می‌گیرد.

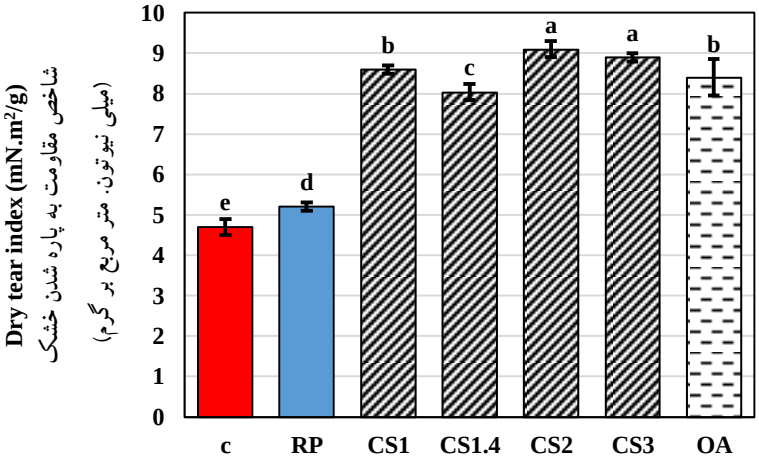


شکل ۲- اثر پالایش خمیرکاغذ، نشاسته ذرت کاتیونی و تیمار ترکیب بهینه بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ در حالت خشک.

Figure 2. Effect of pulp beating, cationic corn starch, and optimal combination treatment on dry burst Index.

در شکل ۳ اثر پالایش خمیرکاغذ و افزودن نشاسته ذرت کاتیونی بر شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز در حالت خشک نشان داده شده است. اثر پالایش خمیرکاغذ بر این شاخص نسبت به شاهد معنی‌دار بوده است (گروه مستقل d).

افزودن نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ، سبب افزایش معنی‌دار شاخص پاره شدن کاغذهای دست‌ساز نسبت به شاهد شده است؛ اما بین میانگین‌های این شاخص با استفاده از مقادیر مختلف نشاسته کاتیونی (به‌جز ۲ و ۳ درصد) نیز اختلاف معنی‌داری وجود دارد.



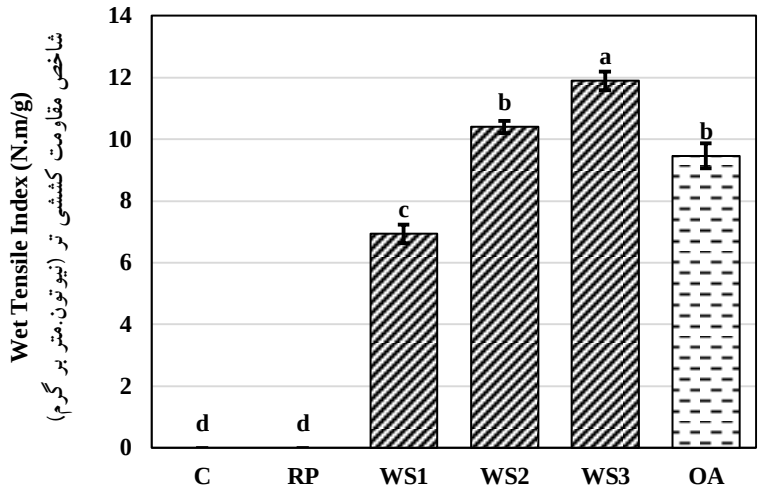
شکل ۳- اثر پالایش خمیرکاغذ، نشاسته ذرت کاتیونی و تیمار ترکیب بهینه بر شاخص پاره شدن کاغذ در حالت خشک.

Figure 3. Effect of pulp beating, cationic corn starch, and optimal combination treatment on tear index.

استفاده از تیمار ترکیب بهینه (تیمار OA) نیز تأثیر مثبت معنی‌داری بر میانگین شاخص پاره شدن خمیرکاغذ پالایش‌شده گذاشته و توانسته است ۷۸/۷ درصد شاخص پاره شدن در حالت خشک کاغذ را نسبت به شاهد افزایش دهد که با تیمار CS1 اختلاف معنی‌داری نداشته و در گروه مستقل b قرار می‌گیرد.

تأثیر مقادیر مختلف رزین مقاومت تر بر شاخص مقاومت کششی در حالت تر کاغذهای دست‌ساز در

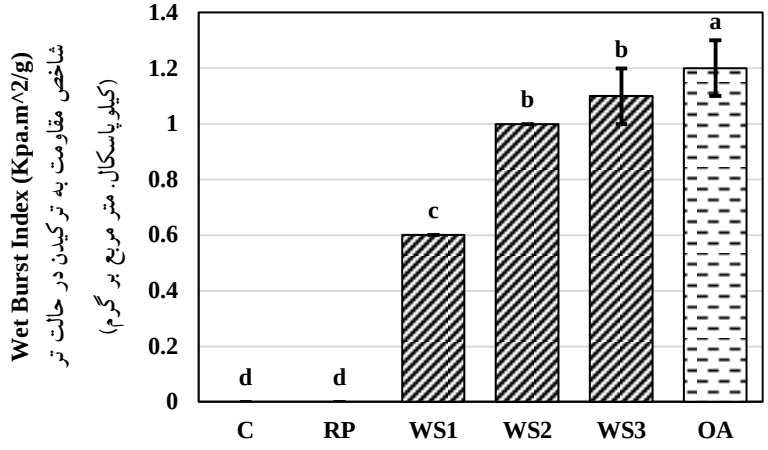
شکل ٤ قابل‌مشاهده است. به دلیل ناچیز بودن این مقاومت برای کاغذهای دست‌ساز بدون رزین (شاهد)، اندازه‌گیری آن توسط دستگاه مقاومت کششی میسر نشد. افزایش مصرف رزین مقاومت تر از سطح ۱ تا ۳ درصد (تیمارهای WS1 تا WS3) سبب افزایش معنی‌دار شاخص مقاومت کششی در حالت تر کاغذهای دست‌ساز پالایش‌شده نسبت به نمونه شاهد شد که میانگین‌های این شاخص طبق گروه‌بندی دانکن در سه گروه مستقل قرار گرفته است. با استفاده از تیمار ترکیب بهینه (تیمار OA)، مقاومت کششی در حالت تر کاغذ نسبت به نمونه شاهد افزایش معنی‌داری یافت و طبق گروه‌بندی آماری دانکن با تیمار WS3 در گروه مستقل b قرار می‌گیرد.



شکل ٤- اثر رزین مقاومت تر و تیمار ترکیب بهینه بر شاخص مقاومت کششی کاغذ در حالت تر.

Figure 4. Effect of wet strength resin, and optimal combination treatment on wet tensile index.

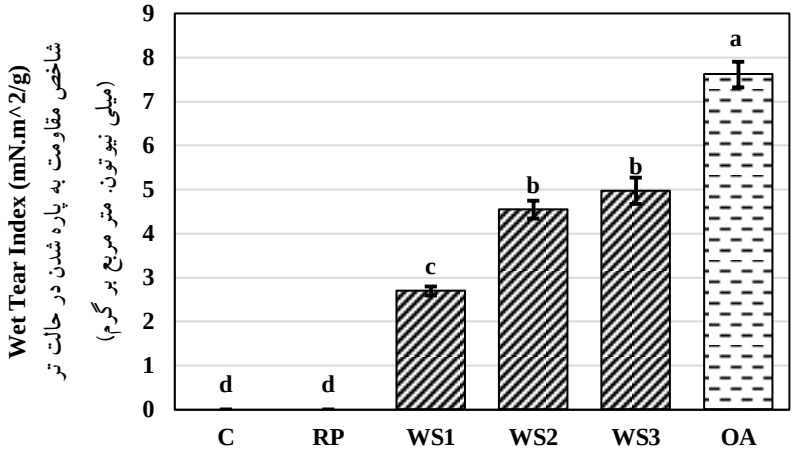
اثر افزودن مقادیر مختلف رزین مقاومت تر بر میانگین‌های شاخص مقاومت به ترکیدن در حالت تر کاغذهای دست‌ساز در شکل ۵ قابل‌مشاهده است. به‌دلیل ناچیز بودن این مقاومت برای کاغذهای دست‌ساز بدون رزین (شاهد)، اندازه‌گیری آن توسط دستگاه مقاومت به ترکیدن نیز میسر نشد. استفاده از این رزین نیز سبب تقویت معنی‌دار مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز شد به‌طوری‌که بیش‌ترین اثر تقویتی در تیمار حاوی ۳ درصد رزین (تیمار WS3) مشاهده شد که البته با تیمار حاوی ۲ درصد رزین (تیمار WS2) اختلاف معنی‌داری نداشته و هر دو میانگین در گروه آماری مستقل b قرار گرفته‌اند. بیش‌ترین تأثیر رزین بر میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذ پالایش‌شده مربوط به تیمار ترکیب بهینه (تیمار OA) می‌باشد که توانسته است ٥٤/٥ درصد از شاخص باقی‌مانده را نسبت به همین شاخص در حالت خشک حفظ کند و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل a قرار گرفته است.



شکل ۵- اثر رزین مقاومت تر و تیمار ترکیب بهینه بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ در حالت تر.

Figure 5. Effect of wet strength resin and optimal combination treatment on wet burst index.

شکل ٦ اثر مقادیر مختلف رزین مقاومت تر بر شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز را در حالت تر نشان می‌دهد. روند افزایش میانگین‌های این شاخص با افزایش مقدار مصرف رزین نسبت به نمونه شاهد از نظر آماری معنی‌دار بوده ولی بین استفاده از ۲ و ۳ درصد (تیمارهای WS2 و WS3) رزین اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و در یک گروه مستقل آماری قرار دارند (گروه b). بیش‌ترین تأثیر رزین بر شاخص مقاومت به پاره شدن خمیرکاغذ پالایش‌شده نیز مربوط به تیمار ترکیب بهینه (تیمار OA) می‌باشد که به‌طور قابل‌توجهی توانسته است ۱٦۲/۱ درصد از شاخص باقی‌مانده را نسبت به همین شاخص در حالت خشک حفظ کند و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل a قرار گرفته است.



شکل ٦- اثر رزین مقاومت تر و تیمار ترکیب بهینه بر شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ در حالت تر.

Figure 6. Effect of wet strength resin and optimal combination treatment on wet tear index.

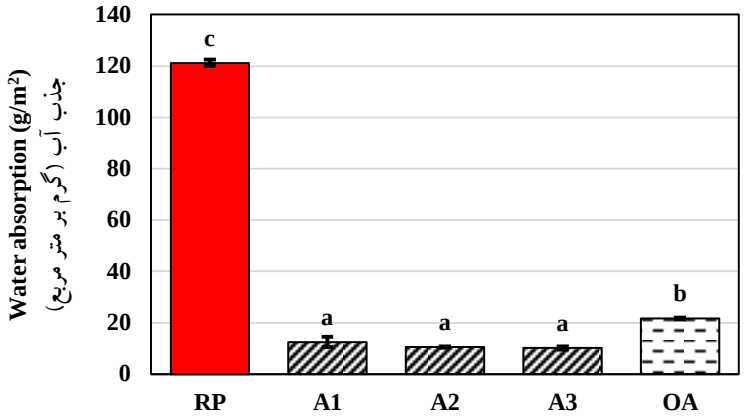
مقاومت‌های تر باقی‌مانده در کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده با اعمال تیمارهای مختلف نسبت به خمیرکاغذ شاهد (تیمار C) و پالایش‌شده (RP) در جدول ۵ قابل‌مقایسه است. با افزودن زرین مقاومت تر (تیمارهای WS) در سه سطح ۱، ۲ و ۳ درصد، همه مقاومت‌ها افزایش‌یافته است. با توجه به گروه‌بندی انجام‌شده توسط آزمون دانکن، بیش‌ترین تأثیر بر مقاومت‌های تر باقی‌مانده مربوط به استفاده از ۳ درصد رزین (تیمار WS3) بوده است. این در حالی است که با توجه به افزایش مقاومت‌های خشک کاغذ با پالایش خمیرکاغذ جوهرزدایی شده نسبت به شاهد، مقاومت‌های تر باقی‌مانده مطلق (به‌خصوص مقاومت به پاره شدن) نسبت به مقاومت‌های تر باقی‌مانده نیز بیش‌تر است. هم‌چنین با اعمال تیمار ترکیب بهینه (OA) به‌غیر از مقاومت کششی تر، روند سایر مقاومت‌های تر افزایشی است.

جدول ۵- مقایسه نسبی مقاومت‌های تر باقی‌مانده و مقاومت‌های تر باقی‌مانده مطلق با آزمون دانکن.

Table 5. Relative Comparison of wet strength retention and absolute wet strength retention with Duncan test.

کد تیمار Treatment code	مقاومت تر باقی‌مانده (٪) Wet strength retention (%)			مقاومت تر باقی‌مانده مطلق (٪) Absolute wet strength retention (%)		
	پاره شدن Tear	ترکیدن Burst	کشش Tensile	پاره شدن Tear	ترکیدن Burst	کشش Tensile
C	0 (e)	0 (c)	0 (c)	0 (e)	0 (d)	0 (d)
RP	0 (e)	0 (c)	0 (c)	0 (e)	0 (d)	0 (d)
WS1	51.92 (d)	15.79 (b)	12.52 (b)	57.44 (d)	27.27 (c)	21.15 (c)
WS2	87.3 (c)	26.31 (ab)	18.77 (a)	96.59 (c)	45.45 (b)	31.7 (ab)
WS3	95.57 (b)	28.94 (a)	21.48 (a)	105.74 (b)	50 (ab)	36.28 (a)
OA	146.53 (a)	31.57 (a)	17.07 (a)	162.12 (a)	54.54 (a)	28.84 (b)

در شکل ۷، نتایج استفاده از AKD بر میانگین جذب آب کاغذهای دست‌ساز نشان داده شده است. کاغذهای دست‌ساز شاهد بیش‌ترین میزان جذب آب (۱۲۰ g/m^2) را دارند که با استفاده از AKD جذب آب کاغذها از نظر آماری نسبت به نمونه شاهد کاهش معنی‌داری (حدود ۹۰٪) یافته است. با افزایش میزان مصرف AKD از سطح ۱ تا ۳ درصد (تیمارهای A1 تا A3)، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر جذب آب نمونه‌ها وجود ندارد (گروه مستقل a). با استفاده از تیمار ترکیب بهینه شامل استفاده از سطوح بهینه ۳ ماده افزودنی (تیمار OA) و پالایش، جذب آب کاغذ نسبت به نمونه شاهد حدود ۸۲٪ کاهش یافت که طبق آزمون آماری دانکن در گروه مستقل b قرار گرفته است.



شکل ۷- اثر AKD و تیمار ترکیب بهینه بر جذب آب کاغذ.

Figure 7. Effect of AKD and optimal combination treatment on water absorption of paper.

بحث

مقاومت‌های کاغذ در حالت خشک: همه مقاومت‌های کاغذهای دست‌ساز در حالت خشک با پالایش خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده اداری و نیز افزودن نشاسته کاتیونی نسبت به نمونه شاهد، به‌صورت مجزا افزایش یافتند. افزایش بیشینه مقاومت‌های کاغذ در حالت خشک، با افزودن ۲ درصد نشاسته کاتیونی ذرت (تیمار CS2) به خمیرکاغذ شاهد حاصل شد که البته به‌جز مقاومت به پاره شدن بیش‌تر، برای مقاومت‌های کششی و ترکیدن با تیمار پالایش خمیرکاغذ (RP) اختلاف معنی‌داری ندارد. اثر مستقل و مناسب پالایش خمیرکاغذ بر مقاومت‌های در حالت خشک کاغذهای دست‌ساز را می‌توان به استفاده از کوبنده آزمایشگاهی که پالایش را با شدت کم‌تر نسبت به پالایش‌دهنده‌های صنعتی انجام می‌دهد مربوط دانست. پالایش خمیرکاغذ باید بسته به خواص الیاف به‌صورت متفاوتی اعمال شود. کوتاه شدن بیش‌ازحد الیاف کوتاه را می‌توان با شدت کم پالایش (بدون کوبش) برای حفظ طول الیاف به حداقل رساند. در حال حاضر، بیشتر تولیدکنندگان کاغذ، پالایش با شدت کم را ترجیح می‌دهند، زیرا استفاده از خمیرهای کاغذ پهن‌برگان و بازیافتی رو به افزایش است (۲۳). از طرف دیگر، استفاده از افزودنی‌های شیمیایی بهبوددهنده مقاومت کاغذ در حالت خشک مثل نشاسته کاتیونی می‌تواند به‌عنوان جایگزین پالایش خمیرهای کاغذ بازیافتی معمولاً با نرمه زیاد، مطرح باشد. این جایگزینی می‌تواند مقدار مواد جامد را پس از پرس مرطوب افزایش داده و در ماشین‌های کاغذ با محدودیت در خشک‌کن، بهره‌وری انرژی را افزایش دهد (۹). نشاسته به‌عنوان ماده چسبنده عمل کرده و از طریق گسترش پیوندهای آمیدی در طول فرآیند خشک‌شدن کاغذ، قدرت اتصال بین الیاف را افزایش می‌دهد. نشاسته کاتیونی دارای بار الکتریکی مثبت، جاذب الیاف و پرکننده‌های[1] دارای شارژ منفی شده و قرار گرفتن آن‌ها بر سطح الیاف باعث کاهش پتانسیل زتا، ارتباط مناسب بین الیاف، نرمه‌ها و پرکننده‌ها، تقویت دلمه‌شدگی و بهبود ماندگاری در حین گذر کاغذ می‌گردد. هم‌چنین نشاسته کاتیونی سبب احیای نقاط از دست رفته در خمیرکاغذ بازیافتی شده و بدین‌ترتیب سبب افزایش قابلیت اتصال و نیز افزایش سطح نسبی پیوند بین الیاف بهبود و در نتیجه بهبود مقاومت به ترکیدن در حالت خشک می‌شود. اگر نشاسته کاتیونی به‌طور صحیح استفاده شود، همه

1- Fillers

ویژگی‌های کاغذ هم‌زمان با بهبود ماندگاری[1] و سرعت ماشین کاغذ نیز افزایش می‌یابد (۲٤، ۲۵).

استفاده از تیمار ترکیبی بهینه (تیمار OA) منجر به افزایش بیشینه مقاومت‌های کششی و ترکیدن کاغذهای دست‌ساز نسبت به شاهد شده است. مقاومت‌های کاغذهای دست‌ساز در حالت خشک به‌جز مقاومت به پاره شدن، نسبت به مقاومت‌های مجاز کاغذ کرافت رنگبری شده طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۷۵ برتر است. هم‌چنین مقاومت کششی در حالت خشک در مقایسه با نتایج ارائه‌شده توسط Husić و Botonjić (۲۰۲۳) برای کاغذ کرافت ساک[2] نیز بیش‌تر است. برای جبران مقاومت به پاره شدن نیز می‌توان از اختلاط خمیرکاغذ الیاف بلند با خمیرکاغذ تیمار شده استفاده نمود که در صنعت نیز معمول است.

مقاومت‌های کاغذ در حالت تر: استفاده از رزین مقاومت تر در خمیرکاغذ جوهرزدایی پالایش‌شده، باعث افزایش معنی‌دار مقاومت‌های تر کاغذهای دست‌ساز نسبت به نمونه شاهد شد. بیش‌ترین افزایش مقاومت‌های تر، مربوط به استفاده از تیمار ۳٪ رزین مقاومت تر نسبت به شاهد است. استفاده از این سطح رزین توانسته است مقاومت کششی، ترکیدن و پاره شدن باقی‌مانده مطلق در کاغذ بازیافتی را در حالت تر به ترتیب در حدود ۳٦، ۵۰ و ۱۰٦ درصد نسبت به مقاومت‌های در حالت خشک شاهد حفظ کند (جدول ۵). پس طبق نظر Chan (۱۹۹٤) مبنی بر حفظ ۲۰ تا ٤۰ درصد مقاومت‌های خشک، عملکرد بسیار مناسبی داشته است و می‌تواند تحت شرایط یخچال و فریزر به‌عنوان کاغذ بسته‌بندی به‌خوبی عمل کند. مقاومت‌های کاغذ معمولی در حالت تر معمولاً حدود ٤ تا ۱۰ درصد مقاومت‌های آن در حالت خشک است کاغذ لاینر مورد استفاده در شرایط مرطوب، باید حداقل ۳۰ درصد استحکام اولیه خود را در صورت اشباع شدن با آب حفظ کند (۲٦). نتایج به‌دست‌آمده توسط Husić و Botonjić (۲۰۲۳) نشان داد که مقاومت کششی کاغذ کرافت ساک در حالت تر، بدون افزودن رزین مقاومت تر (PAE کاتیونی) حدود ۱۰ درصد است، درحالی‌که با افزودن این رزین و با توجه به مقدار اضافه‌شده به حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد می‌رسد و نسبت به نتایج این پژوهش کم‌تر است.

هر چند 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. در نتیجه استفاده از رزین‌های مقاومت تر، شکل، اندازه و صافی اولیه کاغذ حفظ شده و از جذابیت بصری و کاربردی بودن کاغذ اطمینان حاصل می‌شود. اهمیت ثبات ابعادی کاغذ به‌ویژه در کاربردهایی مانند چاپ، تبدیل و بسته‌بندی که در آن ابعاد دقیق مورد نیاز است نمود پیدا می‌کند (۲). تلاش‌های زیادی برای کاهش اثر خستگی[3] در حین پشته‌سازی بسته‌بندی‌های کاغذی با استفاده از عوامل مختلف اتصال عرضی صورت گرفته است. این تلاش‌ها به تولید رزین‌های مناسب مقاومت تر اختصاص یافته است. مقاومت فشاری کارتن[4] 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 (۹). استفاده از تیمار ترکیبی بهینه (تیمار OA) نیز منجر به افزایش بیشینه و معنی‌دار (گروه a)

1- Retention
2- Sack paper
3- Creep
4- Box compression test (BCT)

مقاومت‌های ترکیدن و پاره شدن در حالت تر کاغذهای دست‌ساز نسبت به شاهد و تیمارهای مستقل با رزین مقاومت تر (WS) شده است.

جذب آب کاغذ: با استفاده از ۱ تا ۳ درصد AKD، مقدار جذب آب (کاب) کاغذهای دست‌ساز به ترتیب به ۱۲/٤۳ تا ۱۰/۲۰ گرم بر مترمربع رسید که نسبت به نمونه شاهد حدود ۹۰٪ کاهش یافته است. جذب آب (کاب) کاغذهای بسته‌بندی مورد استفاده برای فرآورده‌هایی که باید در سردخانه یا فریزر نگهداری شوند و اکثر کاغذهای کرافت مورداستفاده برای ساک‌های کاغذی معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ گرم بر مترمربع است (۲٦). با استفاده از تیمار ترکیب بهینه (تیمار OA) یعنی مقدار بهینه مواد افزودنی به همراه پالایش، مقدار جذب آب کاغذهای دست‌ساز تهیه‌شده از خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده اداری تا محدوده مناسبی (حدود ۲۲ گرم بر مترمربع) کاهش یافته است. این نتیجه از مقدار جذب آب ذکر شده برای کاغذ کرافت رنگبری شده طبق استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۷۵ (۳۰ گرم بر مترمربع) نیز کم‌تر است. به نظر می‌رسد که اختلاط دو ماده افزودنی دیگر با AKD، موجب کاهش اثر آبگریزی این لایه شده که البته برای بسته‌بندی محصولات فریزری کاملاً مناسب است.

نتیجه‌گیری

- تیمار مستقل پالایش خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده اداری تا درجه آبگیری SR=۳۱، موجب بهبود مقاومت‌های خشک خمیرکاغذ حاصله شد.
- افزودن ۲ درصد نشاسته کاتیونی ذرت به خمیرکاغذ جوهرزدایی شده اداری پالایش‌شده به‌عنوان سطح بهینه نشاسته، موجب بهبود مناسب‌تر مقاومت‌های خشک کاغذ نسبت به تیمار مستقل پالایش شد.
- استفاده از ۳ درصد رزین مقاومت تر نسبت به سایر سطوح مصرف رزین، مقاومت‌های بیش‌تری را نسبت به شاهد نشان داد.
- کاهش بیشینه جذب آب خمیرکاغذ جوهرزدایی شده اداری تا حدود ۹۰٪ نسبت به خمیرکاغذ شاهد، با استفاده از مصرف ۱ درصد AKD در قالب تیمار مستقل اتفاق افتاد.
- به‌کارگیری تیمار ترکیب بهینه با سطوح بهینه اختلاط مواد افزودنی به خمیرکاغذ پالایش‌شده، شامل نشاسته کاتیونی ذرت (۲٪)، AKD (۱٪) و رزین مقاومت تر (۳٪) برای بهبود مقاومت‌های تر و خشک کاغذ ساخته‌شده از خمیرکاغذ جوهرزدایی‌شده اداری و نیز جذب آب، جهت استفاده در بسته‌بندی فرآورده‌های سردخانه‌ای و فریزری توصیه می‌شود.

منابع

1. Schier, F., Morland, C., Dieter, M., & 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, 126p.
2. Francolini, I., Galantini, L., Rea, F., Di Cosimo, C., & Di Cosimo, P. (2023). Polymeric Wet-strength agents in the paper industry: an overview of mechanisms and current challenges. *International J. of Molecular Sciences*. 24, 9268.
3. Ghasemian, A., Resalati, H., & Sadeghi, L. (2009). The influence of mixed office waste DIP on the mechanical and optical properties of writing and printing paper.
4. Ghasemian, A., & Khalili, A. (2011). Principle and methods of paper recycle. Tehran. [In Persian]
5. Habibie, S., Hamzah, M., Anggaravidya, M., & Kalembang, E. (2016). The effect of chitosan on physical and mechanical properties of paper. *J. of Chemical Engineering and Materials Science*. 7 (1), 1-10.

6.Tajik, M., Torshizi, H. J., Resalati, H., & 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, 1-8.

7.Gharehkhani, S., Sadeghinezhad, E., Kazi, S. N., Yarmand, H., Badarudin, A., Safaei, M. R., & Zubir, M. N. M. (2015). Basic effects of pulp refining on fiber properties-A review. Carbohydrate polymers. 115, 785-803.

8.Bhardwaj, S., Bhardwaj, N. K., & 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 J.* 28 (4), 164-172.

9.Lindström, T., Wågberg, L., & 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 (1, 457-562). Cambridge, UK: The Pulp and Paper Fundamental Research Society.

10.Grigoriev, V., Strengell, K., Virtanen, M., & Hietaniemi, M. (2012). Strength chemistry for board and tissue production: Scientific outlook and end applications.

11.Dash, S., & Swain, S.K. (2013). Synthesis of thermal and chemical resistant oxygen barrier starch with reinforcement of nano silicon carbide. Carbohydrate polymers. 97 (2), 758-763.

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

13.Grommers, H. E., Van der Krogt, D. A., Miller, J., & Whistler, R. (2009). Starch: Chemistry and Technology. Elsevier Inc. 511, p.539.

14.Husić, E., & Botonjić, S. (2023). Effect of addition of wet-strength agent on tensile strength of paper. *JST&M J.* 4, 30-35.

15.Chan, L. L. (1994). Wet-strength resins and their application. *Tappi Pr.*

16.Delgado-Aguilar, M., Tarrés Farrés, J. A., Puig Serramitja, J., Boufi, S., Blanco, Á., & Mutjé Pujol, P. (2015). Enzymatic refining and cellulose nanofiber addition in papermaking processes from recycled and deinked slurries. © Bioresources. 10 (3), 5730-5743.

17.Delgado-Aguilar, M., González, I., Pèlach, M. A., De La Fuente, E., Negro, C., & Mutjé, P. (2015). Improvement of deinked old newspaper/old magazine pulp suspensions by means of nanofibrillated cellulose addition. *Cellulose*. 22: 789-802.

18.Habibi, S., Ghasemian, A., Saraiean, A.H., & Ressalati, H. (2013). Improving the properties of Populus alba CMP pulp by using MOW deinked pulp. *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 20 (1), 19-34.

19.Ziadzadeh, A., Jahan, L. A., Faezipour, M., & Pirjani, A. (2008). Properties of tissue paper from deinked old newspaper and mixed office waste. PAJOUHESH-VA-SAZANDEGI. 21 (3), 94-99. [In Persian]

20.Soltani, F., Ghasemian, A., Saraeeyan, A. R., & Resalati, H. (2013). The effect of old magazine (OMG) deinked pulp on the properties of populus deltoides CMP pulp. *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 20 (1), 79-91.

21.Liu, J., Yang, R., & Yang, F. (2015). Effect of the starch source on the performance of cationic starches having similar degree of substitution for papermaking using deinked pulp. *BioResources*, 10 (1), 922-931.

22.Liu, H., Yano, H., & Abe, K. (2023). Reinforcement of dry and wet paper sheets by cellulose nanofibers. *Cellulose*. 30 (1), 211-222.

23.Jeong-Heon, R., Chul-Hwan K., Ji-Young L., Ji-Su L., Cheong-Ha L., & Jin-Hwa P. (2022). Study of refining effect of mixed pulps using refiner plates with different bar patterns. MDPI J.s, *Applied Sciences*. 12 (22). **https://doi.org/10.3390/app122211445.**

24.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]

25. Ghaffari, M., Ghasemian, A., Resalati, H., & 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 J. of Wood and Paper Industries*. 2 (2), 121-133. [In Persian]

26. Kirwan, M. J. (2012). Handbook of paper and paperboard packaging technology. John Wiley & Sons. 432p.