مقایسه عملکرد نشاسته کاتیونی در کاربردهای سطحی و درونی مقوای بازیافتی

سید علی حسینی هتکه‌پشتی [۱]
امیر خسروانی [۲*]
مهدی رحمانی نیا [۳]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران: کارشناس ارشد کارخانه تولید کاغذ اسناد بهادار (تکاب)، بانک مرکزی ایران

[۲] دانشیار گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.

[۳] دانشیار گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.

* مسئول مکاتبات:
khosravani@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶

چکیده

مشتقات نشاسته از متداول‌ترین افزودنی‌های موردنیاز در صنعت کاغذسازی برای افزایش مقاومت در کاغذ و نیز برخی کاربردهای متنوع دیگر می‌باشند. هرچند افزودن نشاسته در خمیرکاغذ (کاربرد درونی) و تیمار سطحی با نشاسته (کاربرد سطحی) هرکدام دارای محدودیت‌هایی در استفاده هستند و اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های کاغذ دارند، اما هر دو روش باهدف افزایش مقاومت لاینر بازیافتی قابل‌استفاده‌اند. لذا در این تحقیق به‌طور مقایسه‌ای اثر افزودن نشاسته کاتیونی به خمیرکاغذ و همچنین کاربرد سطحی همان مقدار نشاسته کاتیونی به‌صورت اعمال سطحی بر ویژگی‌های مقوای لاینر بازیافتی به‌ویژه ویژگی‌های مقاومتی آن بررسی گردید. نتایج نشان داد که در مقاومت به خمش، تیمار سطحی به‌وضوح باعث افزایش ۳۰ تا ۴۵ درصدی گردید. اما به‌طور میانگین، کاربرد درونی نشاسته در مقایسه با تیمار سطحی آن شاخص مقاومت به کشش بیشتری نتیجه داد، هرچند در ارتباط با شاخص مقاومت به پاره شدن، تفاوت خاصی بین این دو روش دیده نشد.

واژگان کلیدی: مواد افزودنی کاغذسازی، نشاسته، تیمار سطحی، کاربرد درونی، مقوای لاینر، کاغذ بازیافتی.

مقدمه

مواد شیمیایی مختلفی به‌صورت تجاری در تولید کاغذ و محصولات مرتبط استفاده می‌شود. این مواد شیمیایی را می‌توان در درون کاغذ قبل از فرآیند تشکیل ورق (به‌عنوان‌مثال، در بخش پایانه‌تر) یا از طریق تیمار سطح کاغذ استفاده کرد [۱]. نشاسته به‌عنوان متداول‌ترین و مهم‌ترین عامل افزایش مقاومت خشک در کاغذ شناخته می‌شود. به‌طوری‌که در برخی موارد می‌توان تا بیش از ۵ درصد از وزن نهایی ورقه کاغذ از نشاسته استفاده کرد [۲،۱]. در صنعت کاغذ، نشاسته بعد از الیاف سلولزی و پرکننده‌ها بیشترین سهم را در تولید کاغذ دارد [۳]. اما سه روش اساسی برای استفاده از نشاسته در ورق کاغذ وجود دارد. این روش‌ها می‌تواند شامل افزودن در پایانه‌تر (کاربرد در خمیرکاغذ)، اضافه کردن سطحی در سایز پرس و یا پاشیدن روی سطح در هنگام تشکیل ورقه باشد که البته دو روش اول بسیار متداول‌تر هستند [۱-۷]. برای اختلاط نشاسته با خمیرکاغذ (کاربرد درون کاغذ) نشاسته طبیعی باید اصلاح شود تا قابلیت جذب بر الیاف و تأثیرپذیری بیشتر داشته باشد. به همین دلیل نشاسته طبیعی به جهت قابلیت ماندگاری بسیار پایین در ورق کاغذ برای استفاده در پایانه‌تر مناسب نیست. زیرا به دلیل عدم جذب، همراه آب سفید از ورقه الیاف خارج‌شده و درنهایت باعث افزایش BOD پساب می‌گردد که بر همین اساس، ازنظر زیست‌محیطی و نیز اقتصادی مطلوب نخواهد بود [۱، ۳]. هنگامی‌که نشاسته از منبع اولیه استخراج می‌شود، به‌صورت خام بوده و جهت مصرف نهایی، تغییراتی در ساختار شیمیایی آن اعمال‌شده و خواص جدیدی به آن می‌بخشد [۴]. یکی از این تغییرات اعمال‌شده روی

نشاسته، کاتیونی کردن می‌باشد که در طی آن، گروه‌های کاتیونی آمینی نوع سوم و چهارم به نشاسته اضافه می‌شود [۱]. علی‌رغم تغییرات ایجادشده در نشاسته با افزودن گروه‌های کاتیونی، خواص آن تا حدود زیادی تابع خواص ماده اولیه آن می‌باشد. نشاسته کاتیونی، یکی از انواع نشاسته اصلاح‌شده است که در اختلاط با خمیرکاغذ و نیز در کاربردهای سطحی کاربرد دارد [۸]. به هر ترتیب، مقاومت دهی به کاغذهای بازیافتی از طریق افزودن نشاسته در درون خمیرکاغذ و نیز بر روی سطح کاغذ به‌عنوان دو روش بسیار متداول می‌تواند امکان‌پذیر گردد. البته اساس کار و اهداف در این دو روش کاربرد متفاوت هستند [۵، ۸]. در بعضی از کارخانه‌های کاغذسازی فاقد پرس آهارزنی، استفاده از نشاسته کاتیونی در داخل خمیر کاغذ متداول است، اما افزایش مقاومت‌های کاغذ تولیدی با کاربرد نشاسته در خمیرکاغذ به‌ویژه در خمیرکاغذ بازیافتی، مشکلات خاص خود اعم از کاهش کارایی نشاسته و سختی کنترل شرایط کلوئیدی خمیرکاغذ بازیافتی را به دنبال دارد [۵، ۸-۱۰]. از سوی دیگر، در یک تحقیق نشان داده شد که کاربرد نشاسته با گران‌روی‌های متفاوت به‌صورت سطحی ممکن است اثرات متفاوتی بر برخی مقاومت‌ها به همراه داشته باشد و تأثیر تیمار سطحی بر برخی مقاومت‌ها ناچیز باشد [۱۱]. بر همین اساس، Seo و همکاران (۲۰۲۰) سعی بر کنترل میزان نفوذ نشاسته در تیمار سطحی نمودند [۵]. در همین ارتباط، Biricik و همکاران (۲۰۱۱) اعلام کردند در بعضی موارد از تیمار سطحی کاغذ با نشاسته جهت جبران مقاومت‌ها نیز استفاده می‌شود که در این صورت شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدگی با افزایش مقدار مصرف سطحی نشاسته افزایش یافت [۱۲]. اما Kassam و همکاران (۲۰۰۹) بیان نمودند که کاربرد محلول نشاسته و سپس خشک شدن آن روی سطح کاغذ باعث سخت و شکننده شدن الیاف گردید، لذا شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ در تحقیق مورداشاره کاهش یافت [۱۳]. درمجموع با توجه به این‌که در کارخانه‌های متعددی، نیازمندی به مقاومت‌دهی کاغذ بازیافتی وجود دارد، بنابراین، با در نظر گرفتن محدودیت‌های کلوئیدی، این امر (بهبود مقاومت خشک کاغذ) با کاربرد نشاسته کاتیونی در داخل خمیرکاغذ نمی‌تواند محقق گردد؛ چنان‌که نشاسته جذب نشده در داخل خمیر کاغذ بدون دستیابی به افزایش مقاومت می‌تواند باعث افزایش بار پساب گردد. درحالی‌که از طرف دیگر، در خطوط تولیدی دارای تجهیزات اعمال سطحی نشاسته توسط سایز پرس و غیره، شاید برخی از ویژگی‌ها با تیمار سطحی کاغذ قابل دست‌یابی باشد. اما به‌طورکلی این موضوع که در هریک از روش‌های کاربرد نشاسته کاتیونی (کاربرد سطحی و یا کاربرد درونی) کدام مقاومت‌ها امکان دارد تحت تأثیر قرار گیرند، یا این اثر تا چه اندازه قابل‌توجه است و همچنین اثر کاربرد آن بر سایر ویژگی‌ها به‌صورت مقایسه‌ای (مقایسه اثر دو روش کاربرد) با یک نوع نشاسته یکسان و در شرایط یکسان چگونه است، مواردی هستند که لازم است مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند کمک شایانی در تنظیم ویژگی‌های مقوای نهائی با امکانات و شرایط موجود در خطوط تولید کاغذ و مقوا نماید؛ در غیر این صورت، کاربرد نامناسب نشاسته حتی می‌تواند اثرات منفی در خط تولید داشته باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

مخلوط کارتن‌های کنگره‌ای کهنه بازیافتی (OCC) تهیه شد. سپس از قسمت‌های مختلف کارتن که عاری از آلاینده‌های متفاوت همانند انواع چسب، رنگ، منگنه می‌باشد نمونه تهیه گردید. همچنین نشاسته کاتیونی مورداستفاده، نشاسته کاتیونی تاپیوکا حاوی گروه کاتیونی آمین نوع چهارم با درجه استخلاف (mol/mol) ۰/۰۱۸ بود که از شرکت Siam Modified Starch تایلند تأمین گردید.

آماده‌سازی خمیر کاغذ

۳۶۰ گرم (بر اساس وزن خشک) از کارتن‌های بازیافتی را وزن و قطعه قطعه کرده و در مرحله اول در مقدار مشخص ۵ لیتر آب تصفیه به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد. در ادامه حجم محتویات داخل ظرف به ۲۳ لیتر رسانده شد تا بر اساس دستورالعمل TAPPI T200 sp-01 عمل پراکنده‌سازی و آماده‌سازی الیاف کارتن‌های

بازیافتی خیسانده شده، به کمک دستگاه کوبنده آزمایشگاهی (Valley Beater) انجام شود. درنهایت سوسپانسیون خمیرکاغذ در ظرف در بسته در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری گردید.

آماده‌سازی مواد و تهیه کاغذ دست‌ساز

به‌منظور آماده‌سازی نشاسته کاتیونی، محلول ۱ درصد آن بر روی اجاق الکتریکی به مدت ۳۰ دقیقه به‌آرامی حرارت داده شد تا به دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس در این دما به مدت ۳۰ دقیقه دیگر نگهداری شده و درنهایت پس از خنک شدن تا دمای محیط، در طول مدت همان روز مورداستفاده قرار گرفت [۱۴، ۱۵]. به‌منظور افزودن نشاسته کاتیونی و اختلاط با خمیر کاغذ (کاربرد درونی)، نشاسته پس از پخت و خنک شدن (بر اساس روشی که پیش‌ازاین تشریح گردید) به میزان تعیین‌شده (طبق جدول ۱) به خمیرکاغذ آماده‌شده اضافه شد.

جدول ۱. میزان نشاسته کاتیونی مصرفی برای هر نمونه کاغذ دست‌ساز (کاربرد درونی)

ردیف		نوع و شرایط تیمارها	میزان خالص نشاسته	میزان اضافه شدن
۱	کاربرد درونی نشاسته در خمیرکاغذ	٪۱ (نسبت به وزن خشک الیاف کاغذ ۱۲۰ gsm)	۰/۰۲۴ گرم	۲/۴ cc از محلول ۱ درصد
۲		٪۲ (نسبت به وزن خشک الیاف کاغذ ۱۲۰ gsm)	۰/۰۴۸ گرم	۴/۸ cc از محلول ۱ درصد
۳		٪۴ (نسبت به وزن خشک الیاف کاغذ ۱۲۰ gsm)	۰/۰۹۶ گرم	۹/۶ cc از محلول ۱ درصد

اختلاط توسط همزن DDJ با دور مشخص ۱۰۰۰ دور در دقیقه و با مدت‌زمان اختلاط ۱ دقیقه صورت پذیرفت و پس‌ازآن نمونه‌های حاصله به دستگاه تولید کاغذ دست‌ساز منتقل گردیدند. ساخت کاغذ دست‌ساز بر اساس شیوه‌نامه استاندارد TAPPI T205 sp-02 توسط دستگاه تهیه کاغذ دست‌ساز ساخت شرکت PTI اتریش برای ساخت کاغذ ۱۲۰ گرمی انجام گرفت. لازم به ذکر است، پس از تولید کاغذهای دست‌ساز، این نمونه‌ها همانند نمونه‌های تیمار سطحی، در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند.

نحوه و ترتیب اعمال تیمار سطحی نشاسته کاتیونی بر کاغذ

پس از پخت نشاسته کاتیونی و بعد از آزمون‌وخطای متعدد برای یکنواختی بیشتر و خطای کمتر در پخش شدن محلول نشاسته، محلول ۰/۵ درصد مورداستفاده قرار گرفت. همچنین، به علت اینکه میزان درصد خشکی محلول نشاسته در هردو نمونه کاربرد درونی و سطحی برابر باشد طبق جدول ۲ عمل شد. در خصوص تیمار سطحی با نشاسته، محلول آماده با مقدار تعیین‌شده بر روی کاغذ ۱۲۰ گرمی توسط کاردک سیلیکونی پخش و یکنواخت شد. نمونه‌های آهاردهی شده سطحی نیز با استفاده از رینگ و پلیت در آون به مدت ۱ ساعت و در دمای ۸۰ درجه خشک گردید لازم به ذکر است، برای هر تیمار حداقل تعداد ۱۰ عدد ورقه کاغذ سالم انتخاب گردید. لازم به ذکر است، برای مقایسه، دو نوع نمونه شاهد یا کاغذ پایه در نظر گرفته شد. نمونه شاهد (کاغذ پایه) ساده و کاغذ پایه که با مقدار مشابهی از آب در روش تیمار سطحی تیمار شد (نمونه شاهد آب‌زده) و خشک گردید تا اثر خیس و خشک شدن از اثر نشاسته تیمار سطحی تفکیک گردد.

جدول ۲. میزان نشاسته کاتیونی برای هر نمونه کاغذ دست‌ساز برای تیمار سطحی

ردیف	نوع و شرایط تیمارها	میزان خالص نشاسته اعمال‌شده روی کاغذ	میزان محلول نشاسته اعمال‌شده در هر طرف کاغذ
۱	تیمار سطحی نشاسته روی کاغذ	٪۱ (نسبت به وزن خشک الیاف کاغذ ۱۲۰ گرمی)	۰/۰۲۴ گرم	۲/۴ cc از محلول ۰/۵ درصد در هر طرف کاغذ
۲		٪۲ (نسبت به وزن خشک الیاف کاغذ ۱۲۰ گرمی)	۰/۰۴۸ گرم	۴/۸ cc از محلول ۰/۵ درصد در هر طرف کاغذ
۳		٪۴ (نسبت به وزن خشک الیاف کاغذ ۱۲۰ گرمی)	۰/۰۹۶ گرم	۹/۶ cc از محلول ۰/۵ درصد در هر طرف کاغذ
۴	نمونه شاهد تیمار شده با آب (شاهد آب‌زده)	-	-	۲/۴ cc آب در هر طرف کاغذ
۵		-	-	۴/۸ cc آب در هر طرف کاغذ
۶		-	-	۹/۶ cc آب در هر طرف کاغذ

آزمون‌ها و اندازه‌گیری ویژگی‌های کاغذ

گراماژ کاغذ بر اساس استاندارد TAPPI T410 om-02 و ضخامت ورقه بر اساس استاندارد TAPPI T411 om-97 تعیین گردیدند. مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز بر اساس استاندارد TAPPI T494 om-01 و اندازه‌گیری مقاومت به پاره شدن بر اساس استاندارد TAPPI T414 om-04 ارزیابی شدند [۱۴]. اندازه‌گیری مقاومت به خمش با دستگاه آزمونگر سفتی خمشی تیبر (Teledyne Taber) بر اساس استاندارد SCAN-P 29:95 صورت پذیرفت. میزان جذب آب در کاغذهای لاینر و مقوای کنگره‌ای که ماده مصرفی صنایع کارتن‌سازی می‌باشند بسیار مهم است؛ لذا این پارامتر و تغییرات آن در اثر افزودن درونی و سطحی کاغذ، بر اساس شیوه‌نامه استاندارد TAPPI T441 om-02 مورد آزمون قرار گرفت.

آنالیز آماری

آنالیز آماری این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد و در صورت معنی‌دار شدن اثر تیمارها، به‌منظور مقایسه میانگین‌ها از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه دانکن استفاده گردید. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد. قابل‌ذکر است، آزمون‌ها حداقل با پنج تکرار انجام گردید.

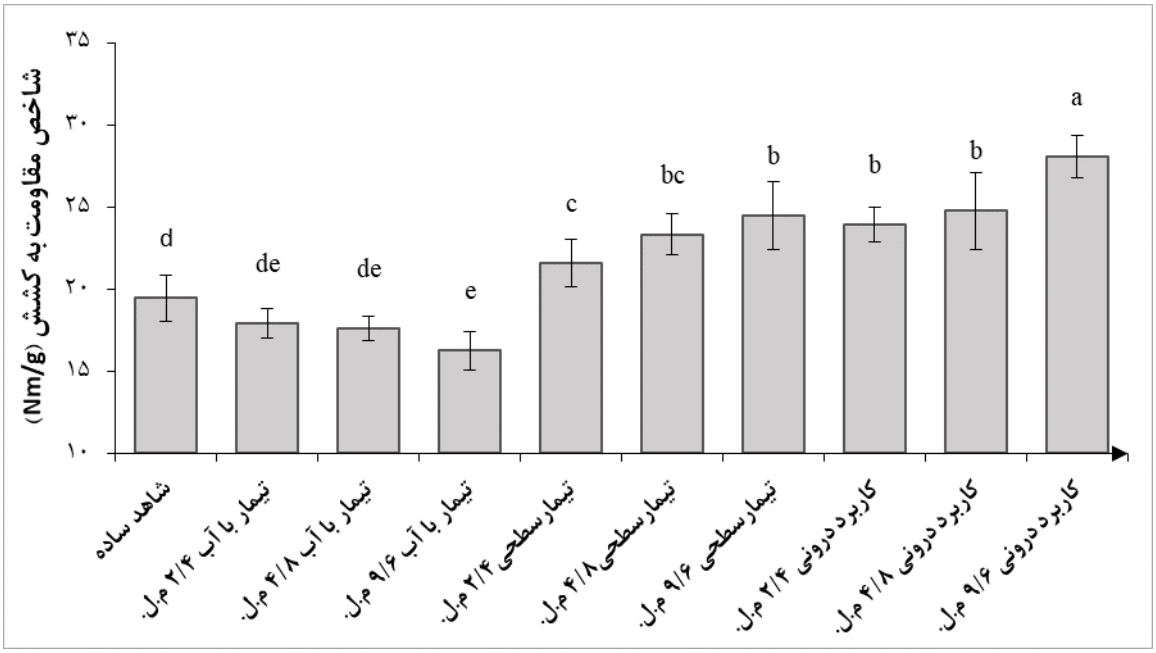
نتایج و بحث

بررسی و مقایسه شاخص مقاومت به کشش

شاخص مقاومت به کشش کاغذ، پس از هر دو روش کاربرد مورد مقایسه قرار گرفت. برای مقایسه، دو نمونه شاهد ساده (فاقد هرگونه تیمار) و شاهد آب‌زده (تیمار سطحی با مقدار آب مشابه روش تیمار سطحی ولی فاقد نشاسته) نیز موردبررسی قرار گرفت. بررسی نمونه کاغذ شاهد آب‌زده برای تفکیک اثر نشاسته از اثر خیس و خشک شدن کاغذ در اثر فرآیند تیمار سطحی مورداستفاده قرار گرفت. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزودن نشاسته کاتیونی (به‌صورت کاربرد درونی) در درصدهای مختلف به خمیرکاغذ شاهد ساده (فاقد هرگونه تیمار)، شاخص مقاومت به کشش کاغذ افزایش نسبی یافته است که آن را می‌توان حاصل پیوند یابی بهتر و بیشتر بین الیاف و اجزای درون خمیرکاغذ در اثر افزودن نشاسته دانست. نشاسته کاتیونی تا حدی با ایجاد اتصالات جدید در محل پیوندها (افزایش سطح پیوند دار) و یا تقویت پیوندهای موجود، پس از خشک شدن

کاغذ، سطح تماس و پیوند را گسترش داده و تقویت می‌کنند و همین امر منجر به بهبود مقاومت شبکه الیاف در برابر تنش‌های وارده می‌شود؛ به نحوی که نیروی‌های مکانیکی اعمال‌شده را به طور یکنواخت در تمام سطح الیاف پخش می‌کند و از تمرکز تنش جلوگیری می‌نماید [۵، ۱۶، ۱۷]. همچنین نمونه‌های دارای تیمار سطحی نسبت به نمونه‌های مشابه شاهد ساده و آب‌زده (شاهد تیمار شده با آب) دارای مقاومت به کشش بالاتری بوده‌اند. این نتیجه، امکان اثرگذاری تیمار سطحی کاغذ با نشاسته بر مقاومت به کشش کاغذ را مشخص می‌کند. به عبارت دیگر، بر اساس برخی منابع [۸] در تیمار سطحی کاغذ با نشاسته، اگر نفوذ نشاسته در کاغذ امکان‌پذیر شود (معمولاً از طریق کاهش گرانروی و یا غلظت کمتر نشاسته به‌ویژه در پوندسایزر)، اثرگذاری بر افزایش مقاومت به کشش امکان‌پذیر خواهد بود. Biricik و همکاران (۲۰۱۱) و برخی محققین دیگر، همگی به امکان افزایش شاخص مقاومت به کشش در اثر تیمار سطحی اشاره داشته‌اند که نتیجه‌ای مشابه نتایج شکل۱ را تائید می‌نماید [۱۱، ۱۲، ۱۹]. این محققان نشان دادند که کاربرد سطحی نشاسته با غلظت و یا گرانروی کم که امکان نفوذ نشاسته را فراهم کند می‌تواند بر مقاومت به کشش کاغذ اثرگذار باشد [۱۱، ۱۲، ۱۹]. همچنین در ارتباط با بررسی اثر کاربرد درونی نشاسته کاتیونی در مقایسه با تیمار مشابه سطحی بر شاخص مقاومت به کشش، مشاهده شد که در شرایط ذکرشده، به‌طورکلی اثر کاربرد درونی نشاسته کاتیونی بر مقاومت به کشش، بیشتر از اثر کاربرد سطحی مقدار مشابهی نشاسته بر روی سطح کاغذ بوده است.

از سوی دیگر نکته قابل‌توجه، اثر منفی‌تر و خشک شدن اجتناب‌ناپذیر کاغذ در تیمار سطحی کاغذ می‌باشد؛ چنانکه در نمونه‌های آب‌زده (تیمار شده با آب)، شاخص مقاومت به کشش کمتری حتی نسبت به نمونه شاهد بدون ماده افزودنی مشاهده می‌شود. به بیان واضح‌تر، فرآیند تر و خشک شدن مجدد کاغذ (بدون نشاسته) از شاخص مقاومت به کشش کاغذ کاسته است.

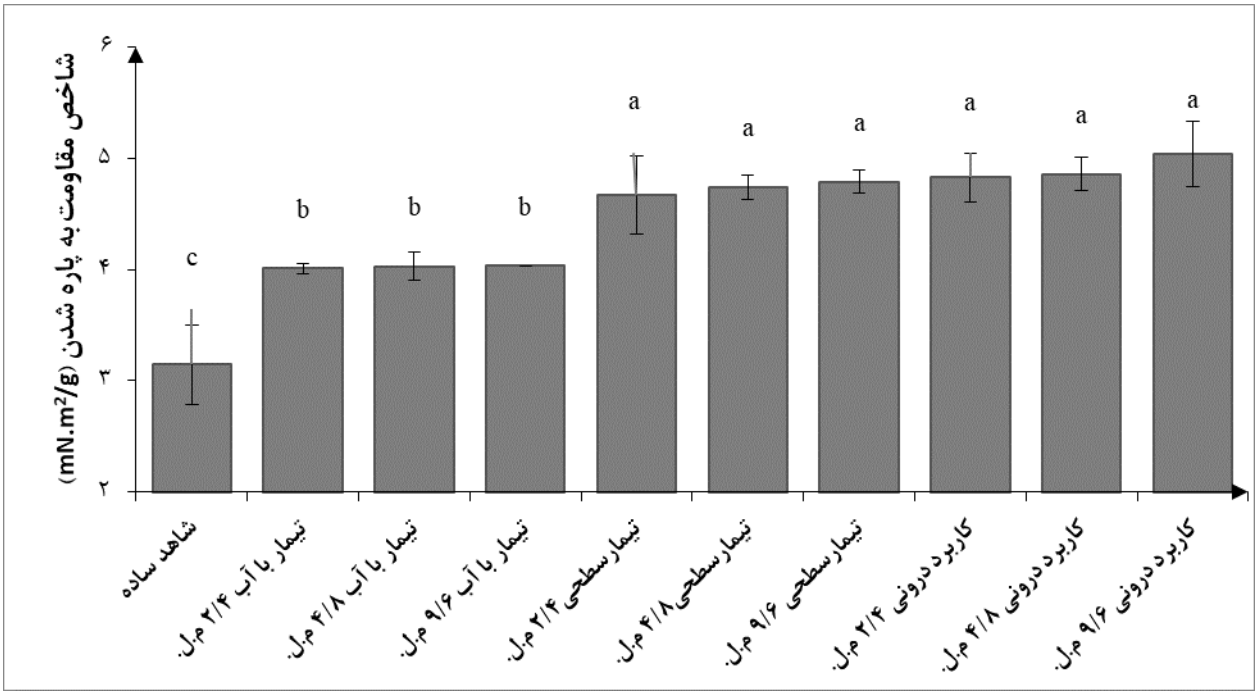


شکل ۱. مقایسه شاخص مقاومت به کشش کاغذ در تیمار سطحی و کاربرد درونی نشاسته کاتیونی (م.ل.: میلی‌لیتر)

شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ

شاخص مقاومت به پاره شدن از ویژگی‌های مهم و رایج در ارزیابی‌های کاغذ است. این شاخص، وابسته به مقاومت دیواره الیاف، طول و درهم‌رفتگی شبکه‌ای الیاف و نیز میزان اتصالات در درون ورقه کاغذ است [۱۴-۱۸]. این شاخص در ارزیابی استحکام کاغذ و مقواهایی که در مراحل تبدیلی و حین مصرف در معرض تنش پاره شدن قرار می‌گیرند، اهمیت ویژه‌ای دارد. همچنان که پیش‌ازاین

اشاره شد، عوامل متعددی از قبیل میانگین طول الیاف، مقاومت ذاتی الیاف، میزان پیوند بین الیاف و میزان جهت یافتگی الیاف بر شاخص مقاومت به پاره شدن تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه مواد افزودنی اثر مشخصی بر مقاومت ذاتی الیاف و طول الیاف نخواهند داشت، لذا اثر این مواد بر شاخص مقاومت به پاره شدن را می‌توان به وضعیت پیونددهی در ورقه کاغذ مرتبط دانست [۵]. به‌طورکلی در خمیرکاغذهای با میزان پیونددهی ضعیف‌تر بین الیاف، بهبود مقاومت به پاره شدن با توسعه پرزدار کردن الیاف و افزایش پیوندهای هیدروژنی امکان‌پذیر است. اما در خمیر کاغذهای با میزان پیونددهی بیشتر، طول الیاف و مقاومت ذاتی الیاف، عامل تعیین‌کننده می‌باشد و خمیرکاغذ با الیاف بلندتر و قطر و ضخامت دیواره بیشتر، مقاومت به پاره شدن مناسب‌تری ارائه می‌دهند [۱۸]. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که با افزودن محلول نشاسته کاتیونی در درصدهای مختلف نسبت به خمیر شاهد (به‌صورت کاربرد درونی) شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ افزایش نسبی یافته است. بر اساس توضیحات ارائه‌شده، دلیل این امر را می‌توان به پیوند یابی بهتر و بیشتر بین الیاف در اثر افزودن نشاسته کاتیونی مرتبط دانست.



شکل ۲. مقایسه شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ در تیمار سطحی و کاربرد درونی نشاسته کاتیونی (م.ل.: میلی‌لیتر)

به‌عبارت‌دیگر، همان‌طور که پیش‌ازاین بیان گردید، ازآنجایی‌که در این تحقیق، دو فاکتور طول الیاف و مقاومت ذاتی الیاف بدون تغییر در نظر گرفته شدند، لذا در این بخش، وضعیت پیونددهی بین الیاف در ورقه اهمیت ویژه‌ای می‌یابد. بنابراین، نشاسته کاتیونی با داشتن قابلیت بهبود پیونددهی در خمیرکاغذ، می‌تواند موجب افزایش شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ گردد. از طرفی شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای دارای تیمار سطحی نیز نسبت به نمونه‌های شاهد افزایش پیداکرده است که می‌توان دلیل این امر را نیز به تقویت پیوندها در سطح و یا داخل شبکه الیاف مرتبط دانست.

مقاومت به خمش کاغذ

مقاومت کاغذ در برابر خمش، یک خاصیت مطلوب در کاربرد انواع کاغذ و مقوای بسته‌بندی است. این ویژگی با اندازه‌گیری گشتاور خمشی یک نوار کاغذ تحت شرایط استاندارد تعیین می‌شود [۲۰]. مقاومت به خمش کاغذ و مقوا، به‌صورت کلی به توان سوم ضخامت کاغذ و سپس به

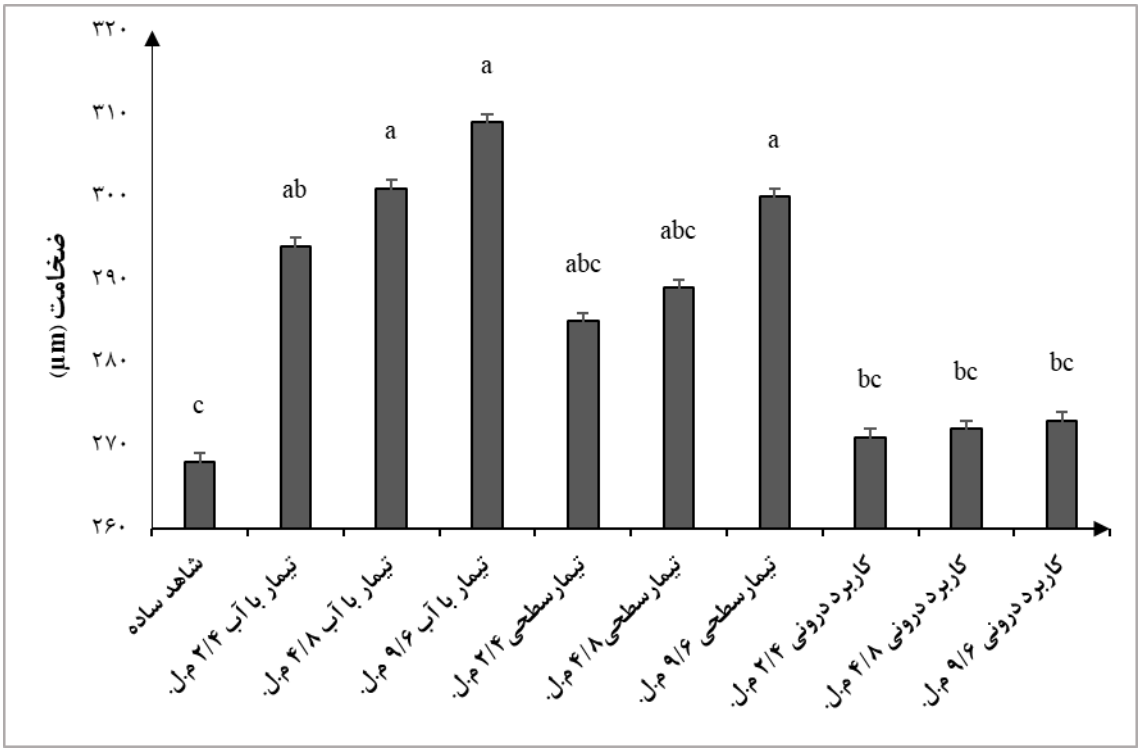
مدول الاستیسیته وابسته است. رابطه ۱ این موضوع را به‌صورت واضحی نشان می‌دهد:

$$S \equiv MT^3 \quad (1)$$

که در این رابطه: S: سفتی خمشی؛ M: مدول الاستیسیته کششی؛ T: ضخامت کاغذ می‌باشد [۲۰].

بر همین اساس، به دلیل تأثیرگذاری زیاد ضخامت کاغذ و مقوا بر مقاومت به خمش، تغییرات آن مورد تحلیل آماری قرار گرفت و نتایج مقایسه میانگین‌های ضخامت در شکل ۳ ارائه گردید. همان‌طور که مشخص است، تیمار سطحی کاغذ با نشاسته، احتمالاً به دلیل تر و خشک شدن و شکل‌گیری یک‌لایه بسیار نازک از نشاسته بر روی کاغذ باعث افزایش ضخامت کاغذ گردیده است. جالب‌توجه اینکه در تیمارهای شاهد آب‌زده شده نیز افزایش ضخامت مشاهده‌شده است. این موضوع را احتمالاً بتوان به تر شدن کاغذ، کاهش کیفیت سطح کاغذ در اثر آزاد شدن الیاف سطحی از شبکه کاغذ و پرزدار شدن سطح کاغذ مرتبط دانست نه افزایش حقیقی ضخامت کاغذ.

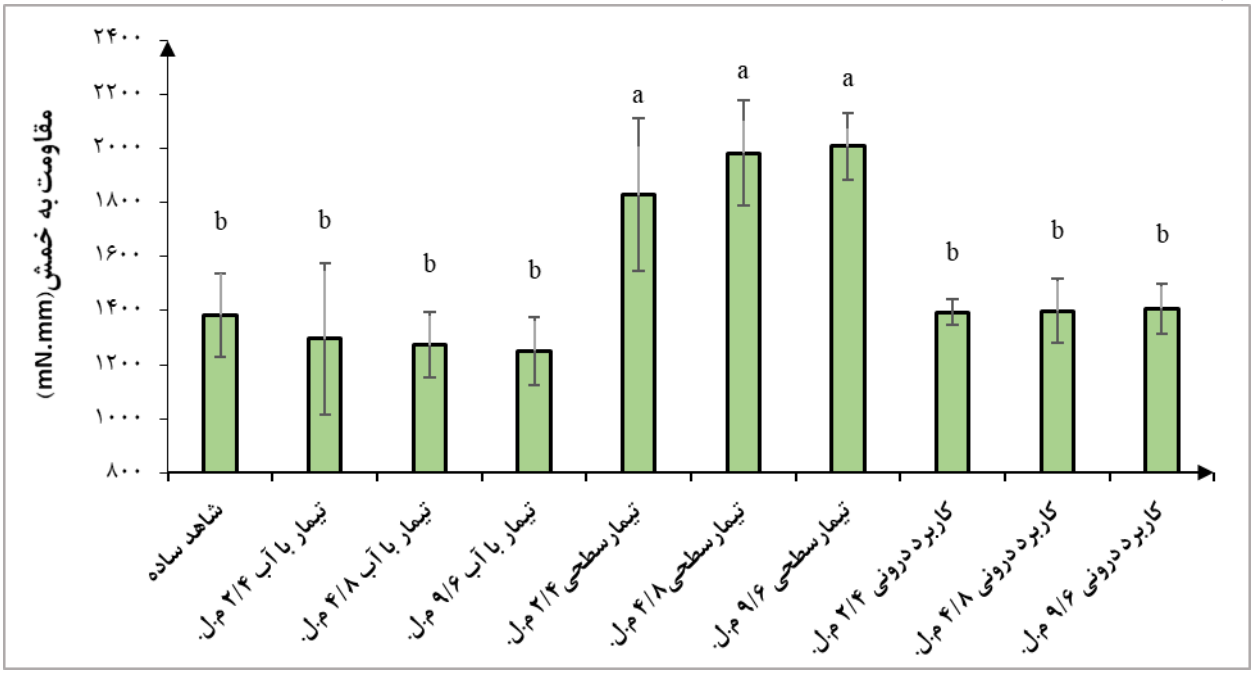
به هر ترتیب در شکل۴، مشاهده می‌شود که در تیمار سطحی با نشاسته، مقاومت به خمش بیشتری حاصل‌شده است، درحالی‌که در اثر سایر تیمارها، مقاومت به خمش متفاوتی مشاهده نشده است (شکل۴).



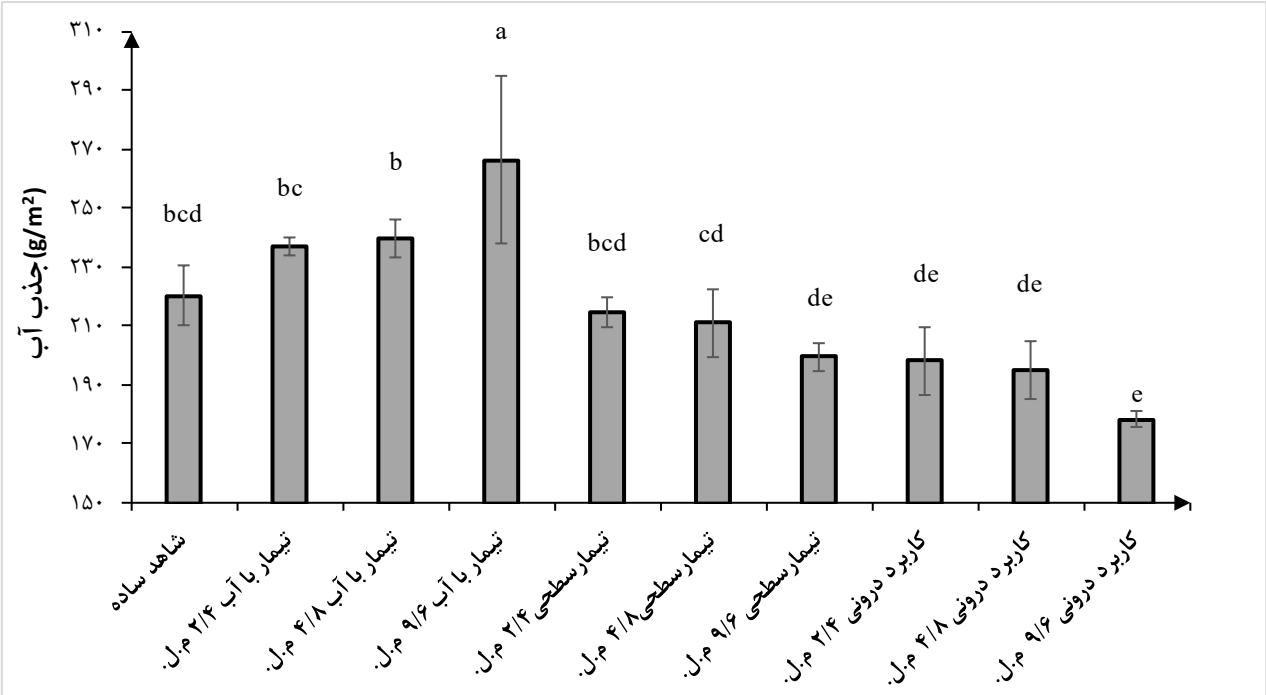
شکل۳. مقایسه ضخامت کاغذ در تیمار سطحی و کاربرد درونی نشاسته کاتیونی (م.ل.: میلی‌لیتر)

جذب آب کاغذ

در خصوص اثر نشاسته برجذب آب کاغذ انتظار می‌رود، هرچند نشاسته ترکیب جاذب آب می‌باشد، اما تیمار با نشاسته از طریق پر کردن منافذ کاغذ، نفوذ و پخش آب را مشکل کند. همچنین به نظر می‌رسد، در اثر پیونددهی نشاسته با الیاف، تقویت پیوندها و نیز گسترش سطح پیوندی، گروه‌های آب‌دوست کمتری از الیاف آزاد مانده باشند و این امر احتمالاً، جذب آب توسط الیاف را کند و سخت‌تر می‌نماید. در این میان مشاهده شد تیمار سطحی کاغذ شاهد با آب (شاهد آب‌زده) باعث پرزدار شدن سطح کاغذ و افزایش امکان جذب آب در آزمون جذب آب‌شده است. قابل‌یادآوری است، تیمار سطح کاغذ با آب به‌عنوان مقایسه و مشخص شدن اثر نشاسته در تیمار سطحی به‌کاربرده شده و همچنین نتایج حاصل مربوط به شرایطی است که پس از تیمار سطحی، عملیات اتو زنی انجام‌نشده است.



شکل ۴. مقایسه مقاومت به خمش در تیمار سطحی و کاربرد درونی نشاسته کاتیونی در کاغذ (م.ل.: میلی‌لیتر)



شکل۵. مقایسه میزان جذب آب کاغذ در تیمار سطحی و کاربرد درونی نشاسته کاتیونی (م.ل.: میلی‌لیتر)

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که در ارتباط با مقایسه اثر نحوه کاربرد نشاسته کاتیونی بر مقاومت‌ها، بیشترین مقدار شاخص مقاومت به کشش در بیشترین مقدار مصرف نشاسته به‌صورت کاربرد درونی حاصل شد و کمترین مقدار این شاخص در کمترین مقدار مصرف نشاسته به‌صورت تیمار سطحی به دست آمد. به‌علاوه، به‌طور میانگین، کاربرد درونی نشاسته در مقایسه با تیمار سطحی آن شاخص مقاومت به کشش بیشتری (در شرایط ذکرشده در این تحقیق) نتیجه داده است. همچنین مشاهده شد که در هر دو روش کاربرد نشاسته کاتیونی (تیمار سطحی و درونی)، شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ در همه تیمارها نسبت به کاغذهای شاهد (شاهد و شاهد تیمار شده با آب) افزایش نسبی یافته بود؛ اما بین روش تیمار سطحی و کاربرد درونی در ارتباط با این ویژگی تفاوت خاصی دیده نشد. در خصوص مقاومت به خمش، در نمونه‌های تیمار سطحی، به‌وضوح مقاومت به خمش بالاتری نسبت به سایر تیمارها حاصل شد و در سایر تیمارها اثر مشخصی بر مقاومت به خمش مشاهده نشد. بنابراین، هرچند باید تأکید گردد که عوامل و متغیرهای متعددی در حصول نتایج این تحقیق مؤثر هستند، اما به‌طورکلی می‌توان به این جمع‌بندی رسید که شاخص مقاومت به کشش و شاخص مقاومت به پاره شدن نمونه‌ها در اثر کاربرد درونی نشاسته کاتیونی از نمونه‌های دارای تیمار سطحی (در مقدار مصرف مشابه نشاسته) بیشتر بوده است. از سوی دیگر، نتایج بیان‌کننده این مفهوم بوده است که انتظار می‌رود در مصرف مقدار مشابهی از نشاسته، مقاومت به خمش نمونه‌های مقوا براثر تیمار سطحی بیشتر از کاربرد درونی افزایش یابد.

منابع

[1] Maurer, H., 2009. Starch in the Paper Industry in Starch, 3rd ed., eds. J. BeMiller, & R. Whistler, Academic Press, San Diego, 657-713 p.

[2] Khosravani, A., Latibari, A.J., Tajvidi, M., Mirshokraee, S.A. and Mohammad Nazhad, M., 2008. Studying the effect of cationic starch dosage on performance of anionic nanosilica - cationic starch system in fine paper. Journal of Forest and Wood Products, 63(1): 1-8. (In Persian).

[3] Maurer, H.W., 2001. Starch and starch products in surface sizing and paper coating, TAPPI Press, Atlanta, GA.

[4] Nikbin, N. and Mahdavi, S., 2011. Application of starch in corrugated container production and paper industries. Journal of Packaging Science and Technology, 8(2): 4-17. (In Persian).

[5] Seo, M., Youn, H. and Lee, H., 2020. Penetration control of surface sizing starch using cationic PAM and its effect on the bending stiffness of paper. Bioresource, 15(3): 5489-5502.

[6] Hubbe, M. A., 2006. Bonding between cellulosic fibres in the absence and presence of dry-strength agents – A review. BioResources, 1, 281–318.

[7] Gess, J.M. and Rodriguez, J.M., 2005. The sizing of paper, 3rd ed, TAPPI Press, Atlanta, GA.

[8] Tutuş, A., Gultekin, S. and Cicekler, M., 2017. Effects of different starch applications on the properties of test liner paper. International Symposium on New Horizons in Forestry, 318- 321.

[9] Ekhtera, M.H., Rezayati Charani, P., Ramezani, O. and Azadfallah, M., 2008. Effects of poly-aluminum chloride, starch, alum, and rosin on the rosin sizing, strength, and microscopic appearance of paper prepared from old corrugated container (OCC) pulp. BioResources, 3 (2): 383-402.

[10] Mehranfar, A.H., Khosravani, A. and Rahmaninia, M., 2020. The effect of electrical conductivity on the performance and interaction of cationic. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 35(1): 102-112. (In Persian).

[11] Hasanpour, J., Khosravani, A., 2022. Enhancement of recycled board strength by surface treatment and additives on size-press. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 13(1): 97-106. (In Persian).

[12] Bricik, Y., Sonmez, S. and Ozden, O., 2011. Effects of surface sizing with starch on physical strength properties of paper. Asian Journal of Chemistry, 23(7): 3151-3154.

[13] Kassam, N., 2009. Mechanical properties of paper sheets treated with different polymers. Pigment and Resin Technology, 38 (2): 91-95.

[14] Mehranfar, A.H., Khosravani, A. and Rahmaninia, M., 2017. The effect of cationic starch degree of substitution on nanoparticle system performance in old corrugated containers recycling. Forest and Wood Products, 70(1): 147-155. (In Persian).

[15] Jahanshahlou, S., Khosravani, A. and Rahmaninia, M., Comparing the effect of silica sol and bentonite nanoparticles on the performance of cationic starch with respect to drain ability, retention and strength properties of recycled paper. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 32(2): 227-237. (In Persian).

[16] Khosravani, A., Latibari A.J., Mirshokraei S.A., Rahmaninia M. and Nazhad M., 2010. Studying the Effect of Cationic Starch-Anionic Nanosilica System on Retention and Drainage. BioResources, 5 (2): 939-950.

[17] Rahmaninia, M. and Khosravani, A., 2013. Improving the paper recycling process of old corrugated container wastes. Cellulose chemistry and technology, 49(2): 203-208

[18] Hamzeh, Y. and Rostampour Haftkhani, A., 2008. Principles of Paper Chemistry. Tehran university Publications, 1st Ed, Tehran, page 424. (In Persian).

[19] Elyasi, Sh. and Jalali Torshizi, H., 2016. The effect of concentration of anionic starch solution in paper surface sizing on physical and strength properties of recycled paper. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 7(4): 487-496. (In Persian).

[20] Farzaneh Kalurazi, J.and Khosravani, A., 2020. Production of Multi-ply Paperboard from Old Corrugated Container Pulp and Application of Fine Materials in the Middle Layer. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 11(1): 109-119. (In Persian).

A Comparison of the cationic starch performance in external and internal applications for recycled linerboard

Abstract

Starch derivatives are as the most common additives required in the paper industry to increase paper strength, and for other various applications. Although both starch addition to the stock (internal application) and surface treatment of the board with starch (surface application) have limitations in applications and also different effects on paper products properties; but both of mentioned methods can be performed with the purpose of improving the mechanical properties of recycled linerboard. Therefore, in the current research, the effect of adding cationic starch to the pulp and also using the same amount of cationic starch for surface application on mechanical properties of recycled linerboard and water absorption (Cobb test) were comparatively evaluated. The results showed that, surface treatment of the paperboard clearly increased bending strength by 30-45%. Furthermore, internal application of cationic starch totally showed higher tensile strength index in comparison with surface application of cationic starch. However, there was not significant difference between paper tear index value by applying cationic starch in papermaking.

Keywords: Papermaking additives, Starch, Surface treatment, Internal application, Liner board, Recycled paper.

S. A. Hosseini Hatkehposhti[1]
A. Khosravani[2*]
M. Rahmaninia[3]

[1] MSc, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran; MSc Expert, TAKAB paper production company, Central Bank of Iran

[2] Associate Professor, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

[3] Associate Professor, Wood and Paper Science and Technology Department, Natural Resources Faculty, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran.

*Corresponding author:
khosravani@modares.ac.ir

Received: 2022/05/29
Accepted: 2022/10/18