Research Article

Iranian Journal of Wood and Paper Industries
Vol. 16, No. 2, Page 209 – 218 (2025)

DOI: 10.22034/ijwp.2025.2047040.1688

Feasibility of using tragacanth gum and Poly Aluminum Chloride (PAC) for improving the paper recycling process

Milad Asghari[1], Mehdi Rahmaninia[2*]

1- Ph.D. Candidate, Wood and Paper Science and Technology Dep. Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
2- Corresponding Author, Associate Professor, Wood and Paper Science and Technology Dep. Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Email: rahmaninia@modares.ac.ir

Received: November 2024 Accepted: February 2025

Abstract

Problem definition and objectives: In the papermaking industry, the use of various additives can be a main source of pollution. So, using environmentally friendly additives can be a proper solution for reducing the problem of pollutions in papermaking and paper recycling industries. Previous investigations have shown that using natural poly-anions like tragacanth as a hemicellulose source significantly improves the strength properties of recycled printing and writing paper, but due to its high hydrophilicity, it reduces the drainage of pulp suspension. Considering the mentioned problem and the presence of a high amount of filler in the printing and writing paper, implementing a mechanism to enhance process characteristics, especially drainage and retention, is effective.

Methodology: In this regard, poly aluminum chloride (PAC) as an inexpensive mineral poly-cation was used for pulp suspension treatment and neutralizing the negative surface charge of fibers for better tragacanth gum absorption. For analyzing the mentioned system, 2% tragacanth gum (based on dry weight of pulp), the individual poly aluminum chloride system (at levels of 0.25%, 0.5%, and 1% based on dry weight of pulp), and the combined poly aluminum chloride and tragacanth gum were examined.

Results: The results showed that applying the tragacanth gum alone improved bond strength, tensile strength (about 15 percent), and fine retention (about 27 percent), but decrease the pulp drainage significantly (about 62 ml CSF). In contrast, the addition of poly aluminum chloride alone did not affect tensile strength but increased drainage and fine retention specially at the 0.25% consumption level. Addition of poly aluminum chloride and tragacanth gum increased all mechanical and process properties compared to the mentioned treatments.

Conclusion: It seems that the addition of poly aluminum chloride at the beginning of process can neutralize the anionic trashes of recycled pulp suspension and also will reduce the negative charge of the fibers suspended in the pulp in the next step and will facilitate and increase the absorption of anionic tragacanth gum on the fibers suspended in the pulp. The results of current research can help to future attempts for considering and applying the environmentally friendly additives for clean production in papermaking and paper recycling industries.

Keywords: Natural polymer, Drainage, Retention aid, Tragacanth gum hemicellulose, Poly aluminum chloride, Wet end chemistry.

امکان‌سنجی استفاده از افزودنی طبیعی کتیرا با پلی آلومینیوم کلراید (PAC) در بهبود فرایند بازیافت کاغذ

میلاد اصغری[۱]، مهدی رحمانی‌نیا[۲*]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.
۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: rahmaninia@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: آذر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۴۰۳

چکیده

بیان مساله و اهداف: یکی از مهم‌ترین منابع آلایندگی در صنعت کاغذسازی، استفاده از افزودنی‌های مختلف می‌باشد. لذا استفاده و معرفی افزودنی‌های دوست‌دار محیطزیست در این صنعت و همچنین تحقیقات اخیر بسیار مورد تأکید و توجه بوده است. در این راستا تحقیقات گذشته نشان داده است که استفاده از پلی‌آنیون طبیعی کتیرا به‌عنوان یک منبع سرشار همی‌سلولزی (دارای ساختاری شاخه‌دار و با وزن مولکولی خیلی زیاد)، ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بازیافتی چاپ و تحریر را به‌طور چشم‌گیری بهبود می‌بخشد، اما به دلیل خاصیت آب‌دوستی فراوان این پلی‌آنیون، استفاده از این افزودنی، سرعت آبگیری از سوسپانسیون خمیرکاغذ را کاهش می‌دهد. با توجه به مشکل ذکر شده و همچنین وجود مقدار زیاد پرکننده در کاغذ چاپ و تحریر بکار بردن یک سازوکار مناسب به‌منظور بهبود ویژگی‌های فرایندی به‌ویژه آبگیری و ماندگاری مؤثر می‌باشد.

مواد و روشها: در این راستا پلی‌آلومینیوم‌کلراید عنوان یک پلی‌کاتیون معدنی ارزان به‌منظور آماده‌سازی الیاف و خنثی‌سازی بار منفی سطح آن‌ها برای جذب بهتر کتیرا مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور تحلیل دقیق شرایط، در این پژوهش تیمارهای مختلفی تعریف گردید تا بر اساس آن‌ها به درک بهتری رسید. بر این اساس سیستم منفرد کتیرا (۲ درصد وزن خشک خمیرکاغذ)، سیستم منفرد پلی‌آلومینیوم‌کلراید (سطوح مختلف ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ درصد بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ) و سیستم ترکیبی پلی‌آلومینیوم‌کلراید و کتیرا موردبررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد که کتیرا به تنهایی توانست با بهبود پیونددهی، سبب افزایش شاخص کشش (حدود ۱۵ درصد) و افزایش ماندگاری نرمه (حدود ۲۷ درصد) نسبت به تیمار شاهد گردد؛ اما آبگیری را (۶۲ واحد CSF ml) نسبت به تیمار شاهد کاهش دهد. در مقابل افزودن پلی‌آلومینیوم‌کلراید به تنهایی تأثیری بر شاخص کشش نداشت، اما آبگیری و ماندگاری نرمه را در سطح مصرف ۰/۲۵ درصد افزایش داد. افزودن پلی‌آلومینیوم‌کلراید و سپس کتیرا به سوسپانسیون خمیرکاغذ توانست نسبت به سایر تیمارها، همه ویژگی‌ها را افزایش دهد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد افزودن پلی‌آلومینیوم‌کلراید در ابتدا باعث خنثی‌سازی آشغال‌های آنیونی و در نتیجه کاهش بار منفی الیاف گردد و آمادگی جذب اتصال کتیرای آنیونی روی الیاف را تسهیل نماید. نتایج این تحقیق می‌تواند در استفاده از محصولات طبیعی مانند کتیرا با فرایند آماده‌سازی راحت‌تر نسبت به بسیاری از افزودنی‌های دیگر در آینده راهگشا باشد.

واژه های کلیدی: پلیمر طبیعی، سرعت آبگیری، کمک ماندگاری، همی‌سلولز کتیرا، پلی‌آلومینیوم‌کلراید، شیمی پایانه‌تر.

مقدمه

استفاده از الیاف بازیافتی و تولید انواع کاغذ به دلایل مختلفی مانند مباحث زیست محیطی، اجتماعی، اقتصادی و غیره در تمام دنیا مورد توجه می‌باشد [۱]. اما در این فرایند بسته به دفعات بازیافت، الیاف حاصل، از جنبه‌های مختلفی مانند طول متوسط، ظرفیت هیدراتاسیون، انعطاف‌پذیری، قابلیت پیونددهی کمتری نسبت به الیاف بکر ضعیف‌تر بوده و درنتیجه کیفیت کاغذ نهایی کاهش پیدا می‌کند [۲] و [۳]. در این راستا برای ارتقاء کیفیت این کاغذها راه حل‌هایی مانند پالایش الیاف، اختلاط الیاف بکر با این الیاف و افزودنی‌های سنتزی و طبیعی برای بهبود مقاومت خشک یا تر کاغذ توسط محققین متعدد پیشنهاد شده است [۴]. افزودنی‌های مقاومت خشک کاغذ مانند نشاسته (خام و اصلاح‌شده)، همی‌سلولز (خام و اصلاح‌شده)، کیتوزان (با انواع وزن‌های مولکولی مختلف) و نانوالیاف‌سلولزی برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ از طریق تقویت پیوند بین الیاف با الیاف و الیاف با نرمه‌ها در تحقیقات مختلف مورد توجه قرار گرفته‌اند [۵]. از میان این افزودنی‌ها کتیرا به دلیل ارزان - قیمت بودن، عدم نیاز به فراوری و پخت (برخلاف نشاسته) و همچنین ایجاد تاثیرات مثبت چشم گیر در ویژگی‌های مقاومتی کاغذ به‌ویژه شاخص کشش دارای مزایای برجسته‌ای می‌باشد. ولی استفاده از این همی‌سلولز با توجه به شاخه‌دار بودن و خاصیت آب‌دوستی شدید کتیرا، آبگیری از خمیرکاغذ را مختل می‌کند [۶]. اختلال در فرآیند آبگیری (که وابسته به خروج آب از توری ساخت کاغذ با مش حدود ۲۰۰ (۷۶ میکرون) می‌باشد) به دلایل مختلف باعث ایجاد مشکلاتی مانند ایجاد مشکل در چرخه آب، عدم شکل‌گیری مناسب ورقه کاغذ، کاهش سرعت تولید، افزایش انواع هزینه‌ها و مواردی از این قبیل، می‌گردد [۷] و [۸]. در این میان، تأثیر افزودنی‌ها بر ماندگاری ذرات ریز سوسپانسیون خمیرکاغذ نیز نباید فراموش شود. این مساله در مورد کاغذهای باطله با درصد نرمه و پرکننده زیاد مانند کاغذ چاپ و تحریر اهمیت بیشتری دارد [۹]. ماندگاری حداکثری این ذرات ریز هم‌زمان با آبگیری سریع مساله مهمی است که یکی از اهداف اصلی این پژوهش می‌باشد. در این راستا انتخاب سیستم‌های افزودنی برای بهبود هم‌زمان مقاومت و فرایند مهم است. سازوکارهای عملکرد این افزودنی‌ها (خنثی-سازی بار، وصله زنی و پل‌زنی) تعیین‌کننده نوع سیستم مورد استفاده است [۱۰]. مدیریت بار سطح الیاف و آماده-سازی آن برای پیوستن یک پلیمر زنجیره‌ای بعضا آنیونی یکی از روش‌های متداول مورد استفاده در این بخش است [۱۱]. در این سازوکار ابتدا با افزودن یک پلی الکترولیت با بار مثبت با چگالی بار زیاد و وزن مولکولی کم (مانند PAC) سطح الیاف و نرمه‌ها که بار منفی دارند خنثی می‌شود سپس با افزودن یک پلی‌آنیون با چگالی بار کم و وزن مولکولی زیاد (مانند همی‌سلولز کتیرا) عمل پل‌زنی انجام می‌شود[۱۲].

بنابراین در این پژوهش سعی شد تا با استفاده از راهبرد مورد اشاره و استفاده از پلی‌آلومینیوم‌کلراید (به‌عنوان یک پلیمر با چگالی بار زیاد و وزن مولکولی کم) قبل از افزودن کتیرای طبیعی (به‌عنوان یک پلی الکترولیت آنیونی) وضعیت فرایندی و مقاومت به کشش در خمیرکاغذ بازیافتی چاپ و تحریر را بهبود بخشید.

مواد و روش‌ها

مواد:

خمیرکاغذ بازیافتی: در این پژوهش از کناره‌بری کاغذ چاپ و تحریر (چاپ نشده) با برند Paper One تهیه گردید.

کتیرا: از استحصال گون سفید (*Astragalus gassypinus*) استان اصفهان تهیه گردید. کتیرای مزبور از نوع آرابینو زایلوز با وزن مولکولی ۳/۱۵ میلیون دالتون، دارای ۸/۲۲ درصد اورونیک اسید، ۲/۵۸ درصد خاکستر دارای رنگ سفید و عدم وجود ناخالصی ظاهری تهیه شد. جدول ۱ ویژگی‌های ساختاری کتیرای اشاره شده را نشان می‌دهد [۶] و [۷]. این کتیرا پس از پودر شدن به راحتی در آب مقطر حل گردید و با غلظت ۱ درصد مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- ویژگی‌های ساختاری کتیرای گون

نوع مونوساکارید	گلوکز	مانوز	رامنوز	گالاکتوز	زایلوز	آرابینوز
درصد	۲/۵۹	۳/۵۳	۳/۵۵۵	۶/۸۹۵	۳۹/۳۶	۴۴/۰۵۵

پلی‌آلومینیوم‌کلراید (PAC): محلول اسیدی کمی زرد رنگ با غلظت ۱۸٪ از ماده مؤثر مورد استفاده قرار گرفت. این محلول برای استفاده به کمک آب مقطر به غلظت ۱۰ درصد رسانده شد. شکل ۱ تصویری از مواد مورد استفاده از این پژوهش را نشان می‌دهد.

پلی آلومینیوم کلراید | خمیر بازیافتی | کاغذ چاپ و تحریر | کتیرای پودر شده | کتیرای استحصال شده از گون

شکل ۱- مواد اولیه مورد استفاده در پژوهش حاضر

روش‌ها

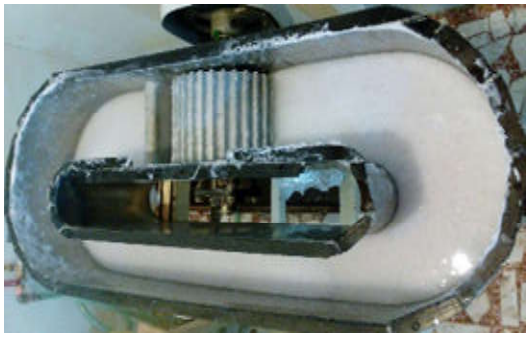
تیمارهای پژوهش بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط Rahmati و همکاران[۶] و [۷] در آزمایشگاه تنظیم گردید. بر این اساس کتیرا با سطح ثابت ۲٪ درصد وزنی (برحسب وزن خشک خمیرکاغذ) انتخاب گردید. همچنین تیمار شاهد ۱ بدون هیچ‌گونه افزودنی و تیمار شاهد ۲ دارای فقط ۲ درصد کتیرا در پژوهش تعریف گردید. لازم به ذکر است برای هر تیمار ۵ تکرار در نظر گرفته شد. جدول ۲ تیمارهای آزمایشی در پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تیمارهای پژوهش

ردیف	تیمار	مقدار (نسبت به وزن خشک خمیر)
۱	شاهد	-
۲	کتیرا	۲٪
۳	پلی‌آلومینیوم‌کلراید	٪۰/۲۵
۴		٪۰/۵
۵		٪۱
۶	پلی‌آلومینیوم‌کلراید / کتیرا	٪۰/۲۵+۲٪

خمیرکاغذ بازیافتی از کاغذ چاپ و تحریر در پالایشگر آزمایشگاهی (valley beater) مطابق استاندارد TAPPI T 200 sp-01 [۱۳] تهیه گردید. بر این اساس پراکنده سازی و پالایش تا محدوده درجه روانی CSF ۳۳۰ mL انجام شد. برای این مرحله از پژوهش از آب با هدایت الکتریکی ۲۰ میکروزیمنس استفاده شد و خمیرکاغذ با درصد-خشکی ۱/۵ به دست آمد. شکل ۲ نمای کلی از این فرایند را نشان می‌دهد.

در راستای انجام تیمارها، PAC پس از رقیق سازی با آب مقطر تا غلظت ۱۰ درصد، به سوسپانسیون خمیرکاغذ اضافه شد و به کمک همزن مکانیکی با دور ۷۵۰ rpm به مدت ۲ دقیقه با خمیرکاغذ هم زده شد. همچنین کتیرای محلول نیز پس از آماده‌سازی با غلظت ۱ درصد، بر اساس تیمار مدنظر به خمیرکاغذ افزوده شد و به کمک همزن مکانیکی با دور ۷۵۰ rpm به مدت ۲ دقیقه هم زده شد. در مورد تیمار ترکیبی نیز از شرایط یکسانی در افزودن دو ترکیب استفاده شد.



شکل ۲- پالایشگر و پراکنده ساز آزمایشگاهی (valley beater)

آبگیری از خمیرکاغذ مطابق با استاندارد TAPPI T 227 om-04 [۱۴] با دستگاه استاندارد درجه روانی کانادایی (CSF tester انجام شد.

همچنین مقدار نرمه در خمیرکاغذ و همچنین میزان ماندگاری کل نرمه در خمیرکاغذ بر اساس استاندار TAPPI T 261cm-00 [۱۵] با دستگاه DDJ (Dynamic Drainage Jar) اندازه‌گیری شد (شکل ۳).

شکل ۳- دستگاه DDJ آزمایشگاهی

ساخت کاغذ دست‌ساز مطابق با استاندارد TAPPI T205-sp02 [۱۶] با دستگاه ساخت کاغذ دست‌ساز (شکل ۴) انجام گرفت و کاغذ با گراماژ ۶۰ گرم بر مترمربع ساخته شد.

آزمون کشش کاغذ مطابق با استاندارد TAPPI T 494 om-01 [۱۷] با دستگاه آزمون کشش (شکل ۵) ساخت شرکت سنتام ایران انجام شد.

شکل ۴- دستگاه کاغذ ساز دستی (Handsheet maker)

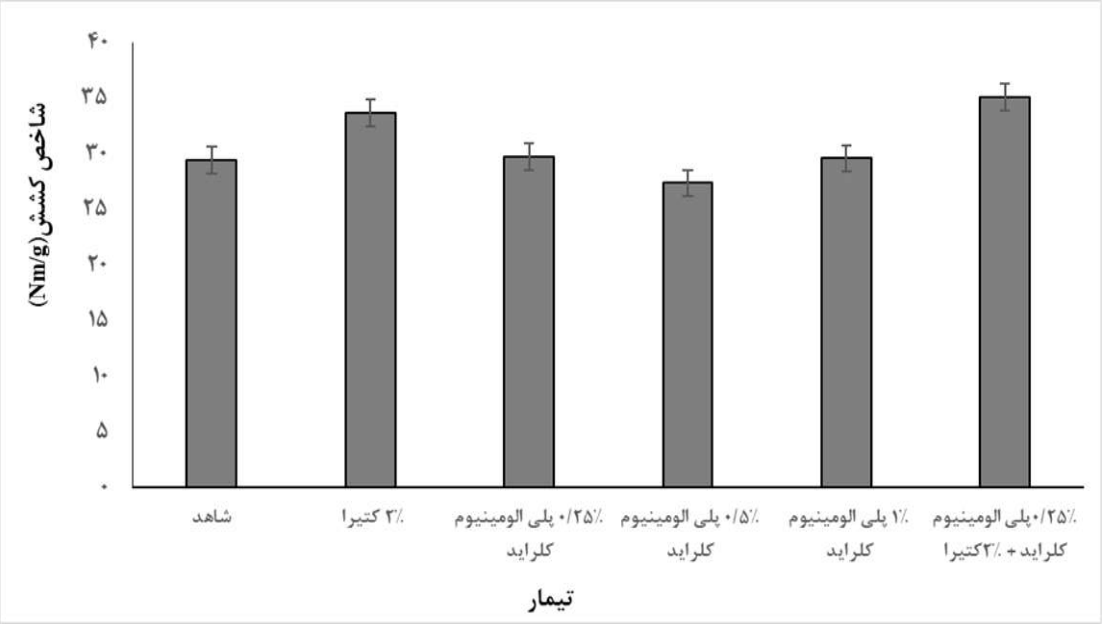
شکل ۵- دستگاه آزمون کشش عمودی

نتایج و بحث

شاخص کشش

مقاومت به کشش کاغذ معیاری از کمیت و کیفیت برقراری پیوند الیاف با الیاف و سایر اجزا می‌باشد و ویژگی‌هایی مانند طول پارگی، مقاومت به ترکیدن با این شاخص رابطه مستقیم دارند [۱۸]. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزودن PAC به تنهایی در هر ۳ سطح تغییری در شاخص کشش کاغذ نسبت به تیمار شاهد اتفاق نیفتاد. این عدم تغییر احتمالاً مربوط به نوع این پلیمر کاتیونی (کوتاه زنجیر با چگالی بار مثبت زیاد) باشد. در واقع این پلیمر کاتیونی بیشتر تمایل به خنثی‌سازی سطوحی مانند الیاف و نرمه‌ها دارد و کمتر در امر پیوندیابی مؤثر می‌باشد و اندک افزایش‌ها هم احتمالاً به دلیل اندک کلوخه‌های حاصل از وصله زنی باشد. البته در این بین از احتمال تغییر پتانسیل‌زتا به بالای صفر و به بیانی دیگر برهم خوردن احتمالی شکل‌گیری ورقه نهایی هم نباید غافل شد [۱۲]. با افزودن ۲٪ کتیرا به خمیرکاغذ، افزایش معنی‌داری در شاخص کشش کاغذ رخ می‌دهد. به نظر می‌رسد علت این امر، ساختار زایلوآرابینانی در زنجیره اصلی و برخورداری از گروه‌های هیدورکسیل زیاد در کنار وجود گروه‌های کربوکسیلی فراوان (به علت وجود تعدادی گروه‌های اورونیک اسید) است که تعاملات و واکنش‌های پیوندی بین‌مولکولی و پیوند هیدروژنی بین الیاف و نرمه با همی‌سلولزهای کتیرا را فراهم می‌کند [۷]. در سیستم ترکیبی پلی‌آلومینیوم-کلراید / کتیرا، شاخص کشش کاغذ حاصل ۲۰ درصد افزایش داشته و نسبت به سیستم‌های منفرد کتیرا یا PAC مقاومت کششی بیشتری از خود نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که افزودن پلیمر کاتیونی PAC ابتدا بار سطح الیاف را تا حدی خنثی و شرایط را برای چسبیدن

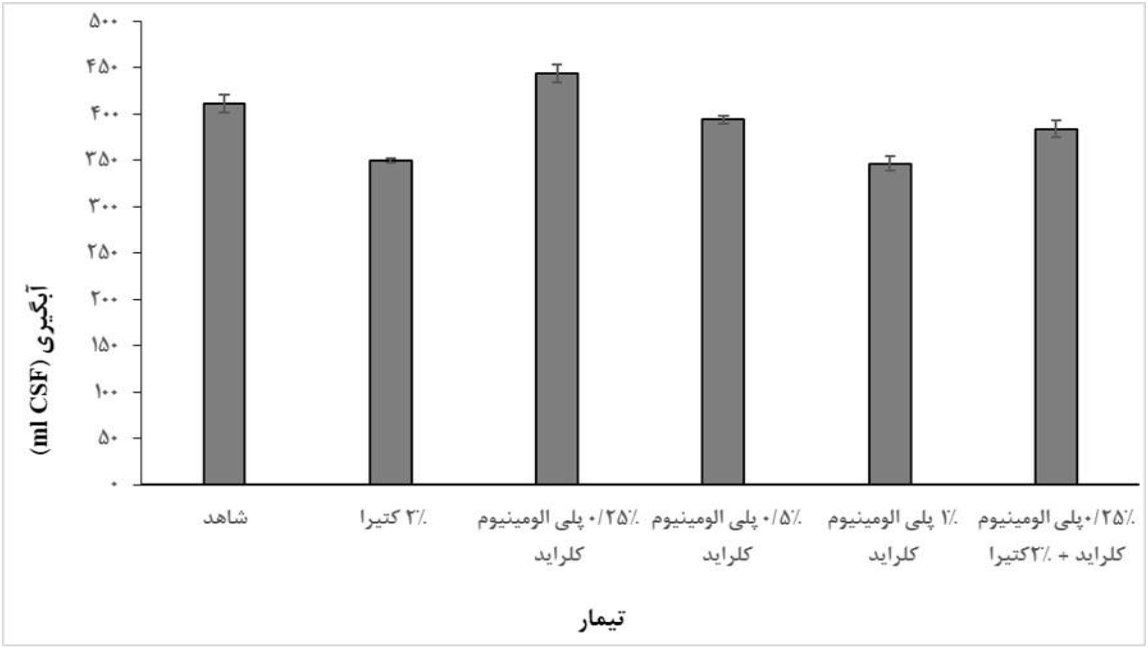
پلیمر آنیونی کتیرا مناسب کرده و بدین ترتیب با تشکیل کلوخه (الیاف-الیاف و الیاف-نرمه) و همچنین افزایش سطح پیوندی بین اجزای جامد به کمک کتیرا، باعث بهبودی این مقاومت می‌گردند[۱۰]و [۱۹].



شکل ۶- شاخص کشش در کاغذهای تولیدشده در پژوهش

آبگیری

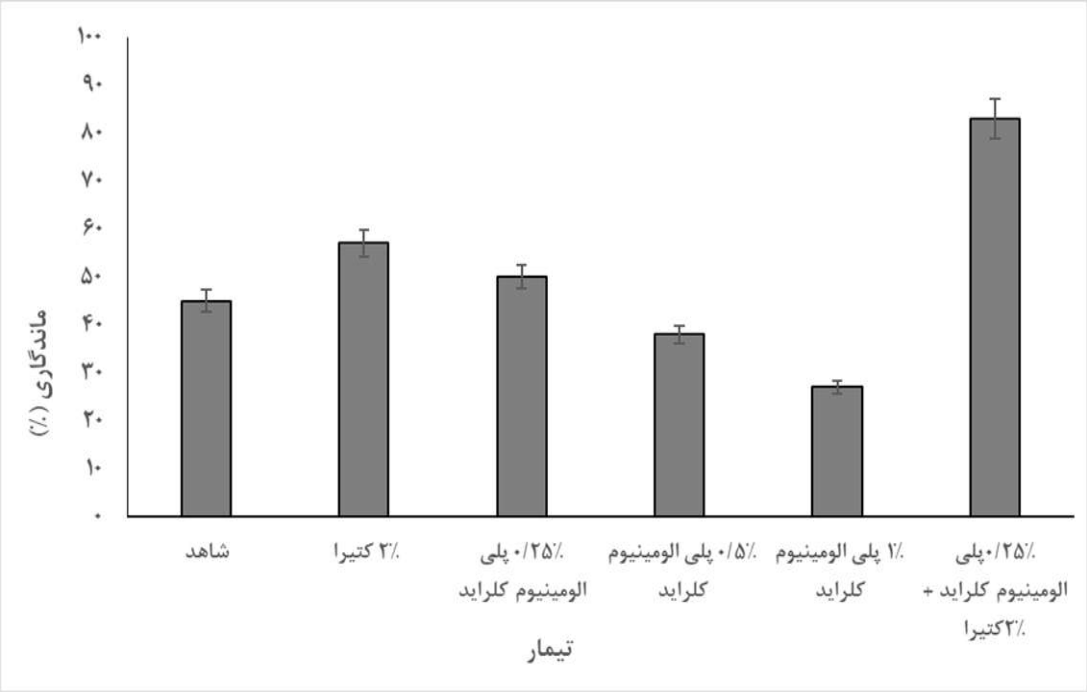
آبگیری از خمیرکاغذ یکی از ویژگی‌های فرایندی مهم در کاغذسازی می‌باشد. با توجه به شکل ۷، با افزودن تنها پلی‌آلومینیوم‌کلراید به سوسپانسیون خمیرکاغذ با سطح مصرف ۰/۲۵ درصد، وضعیت آبگیری از خمیرکاغذ را نسبت به تیمار شاهد حدود (۸٪) و نسبت به تیمار کتیرا (۲۷٪) افزایش می‌دهد؛ ولی با افزایش میزان مصرف تا ۱٪ مقدار آبگیری از خمیرکاغذ کاهش می‌یابد. احتمالاً در سطح ۰/۲۵٪ این پلی الکترولیت پتانسیل زتا به صفر نزدیک می‌شود و اندک کلوخه‌هایی مناسب برای تسهیل خروج آب به‌وسیله وصله‌زنی ایجاد می‌شود [۲۰]؛ ولی با افزایش میزان مصرف این ماده بار مؤثر سامانه از صفر عبور کرده و مثبت شده و فرایند تشکیل کلوخه مختل می‌شود [۲۱]. همچنین افزودن ۲٪ کتیرا به خمیرکاغذ بازیافتی چاپ و تحریر باعث مختل شدن شدید آبگیری از خمیرکاغذ می‌شود. احتمالاً ساختار آب‌دوست همی-سلولزهای کتیرا آب را در خود نگه می‌دارند. همچنین کلوخه‌هایی که کتیرا باعث می‌شود که الیاف با الیاف تشکیل دهند دارای اندازه بزرگ بوده و باعث می‌شود آب را در خود نگه دارند [۶]. در مقابل با استفاده از این دو ترکیب در کنار یکدیگر، آبگیری از خمیرکاغذ نسبت به آبگیری از خمیر با ۲٪ کتیرا (۱۰٪) و تیمار شاهد افزایش می‌یابد. ضمن اینکه ویژگی مکانیکی مقاومت به کشش در این حالت نسبت به اعمال کتیرا به تنهایی افت نمی‌کند که دستاورد ارزشمندی است. به نظر می‌رسد خنثی‌سازی الکتروستاتیکی سطح الیاف به کمک PAC و اتصال بهتر کتیرای آنیونی عامل این نتیجه باشد.



شکل ۷- آبگیری از خمیرکاغذ در تیمارهای مختلف

ماندگاری نرمه‌ها و پرکننده‌ها

نتایج درصد خاکستر نشان داد که کاغذ باطله اولیه حدود ۲۵ درصد مواد معدنی دارد. لذا ماندگاری به‌ویژه ماندگاری نرمه و پرکننده با توجه به درصد زیاد آن مساله مهمی می‌باشد. همانطورکه می‌دانیم، ارتقاء این ویژگی باعث بهبود مقدار تولید، وضعیت پساب، هزینه‌های تولید می‌گردد. شکل ۸ نمودار تأثیر تیمارها بر وضعیت ماندگاری نرمه‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، افزوده شدن پلی‌آلومینیوم‌کلراید به تنهایی در سطح ۰/۲۵ درصد باعث افزایش ماندگاری نسبت به تیمار شاهد گردید؛ اما با افزایش سطح مصرف آن، روند کاهشی بود به طوری که کمترین ماندگاری در سطح مصرف ۱ درصد حاصل شد. احتمالاً در مقادیر کم مصرف این پلی الکترولیت، پتانسیل زتا به صفر نزدیک می‌شود و کلوخه-هایی مناسب برای تسهیل خروج آب از بین فلاک‌ها ایجاد می‌شود [۱۵]؛ ولی با افزایش میزان مصرف این ماده بار مؤثر سامانه از صفر عبور کرده و مثبت شده و فرایند تشکیل کلوخه مختل می‌شود [۲۲]. همچنین افزودن ۲ درصد کتیرا به تنهایی باعث بهبود ماندگاری نرمه (افزایش ۱۰درصدی) نسبت به تیمار بدون افزودنی می‌گردد. به نظر می‌رسد این افزایش به دلایل مختلفی باشد. در وهله اول قابلیت ایجاد پیوندیابی کتیرا بین الیاف و نرمه‌ها باعث حفظ نرمه می‌گردد [۶]. دوم اینکه با توجه به نتایج آبگیری، افزودن کتیرا به تنهایی با کاهش آبگیری سبب کاهش سرعت خروج آب و بسته شدن احتمالی منافذ توری و منافذ بین الیاف شده و باعث گیر افتادن آن‌ها در ساختار کاغذ می‌گردد [۶]. اما افزودن سیستم ترکیبی پلی‌آلومینیوم‌کلراید-کتیرا ماندگاری نرمه و پرکننده‌ها را ۸۳ درصد افزایش داد که نتیجه چشمگیری است. در این روند به نظر می‌رسد افزودن پلی‌آلومینیوم‌کلراید می‌تواند به دلیل داشتن سطح ویژه بیشتر، نرمه و ذرات کلوئیدی را جذب نموده [۲۳] و در مرحله بعد با جذب روی الیاف، باعث خنثی شدن بار آن‌ها می‌گردد. در فاز دوم این روند و با افزون همی‌سلولزهای کتیرا، عمل جذب این پلیمر طبیعی آنیونی راحت‌تر روی الیاف جذب و باعث اتصال نرمه و پرکننده‌ها روی این الیاف و افزایش چشمگیر ماندگاری می‌گردد [۲۴].



شکل ۸- ماندگاری کل نرمه‌ها در تیمارهای مختلف

نتیجه‌گیری

استفاده از ۲٪ همی‌سلولزکتیرا به تنهایی، مقاومت به کشش کاغذ و ماندگاری نرمه‌ها و پرکننده‌ها را نسبت به کاغذ شاهد بهبود می‌دهد ولی با توجه به ساختار آن آبگیری از خمیرکاغذ را با افت مواجه می‌کند. همچنین استفاده از پلی آلومینیوم کلراید در سطوح مختلف به تنهایی، تأثیر چندانی بر مقاومت به کشش نسبت به تیمار شاهد نشان نداد. به علاوه آبگیری و ماندگاری نرمه در خمیرکاغذ در سطح مصرف ۰/۲۵ درصد پلی آلومینیوم کلراید نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت؛ اما افزایش سطح مصرف، این ویژگی‌ها را کاهش داد. به کارگیری سیستم دوگانه پلی آلومینیوم کلراید- کتیرا بهترین نتایج مقاومت به کشش و ماندگاری نرمه و پرکننده را ارائه داد. این در حالی است که مشکل آبگیری بر اثر افزودن کتیرا به تنهایی نیز بهبود یافت. بر این اساس، به نظر می‌رسد با پیشنهاد این سامانه طبیعی و ارزان قیمت به صنایع، می‌توان نتایج امیدوارکننده آن را در آینده مشاهده نمود.

منابع

[1] Milani, H.S. and Rahmaninia, M., 2024. Improved drainage of LNFC-reinforced recycled pulp and mechanical properties of end papers by the zeolite-chitosan microparticle drainage aid system. BioResources, 19(1), p.84. https://doi.org/10.15376/biores.19.1.84-102

[2] Rahmaninia, M., Rohi, M., Hubbe, M.A., Zabihzadeh, S.M. and Ramezani, O., 2018. The performance of chitosan with bentonite microparticles as wet-end additive system for paper reinforcement. Carbohydrate polymers, 179, pp.328-332.https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.036

[3] Viana, L.C., Potulski, D.C., Muniz, G.I.B.D., Andrade, A.S.D. and Silva, E.L.D., 2018. Nanofibrillated cellulose as an additive for recycled paper. Cerne, 24(2), pp.140-148.https://doi.org/10.1590/01047760201824022518

[4] Lu, C., Rosencrance, S., Swales, D., Covarrubias, R. and Hubbe, M.A., 2020. Dry strength: Strategies for stronger paper. Make Paper Products Stand Out. Strategic Use of Wet End Chemical Additives, pp.155-196.

[5] Sabazoodkhiz, R., Rahmaninia, M. and Ramezani, O., 2017. Interaction of chitosan biopolymer with silica nanoparticles as a novel retention/drainage and reinforcement aid in recycled cellulosic fibers. Cellulose, 24(8), pp.3433-3444.https://doi.org/10.1007/s10570-017-1345-3

[6] Rahmati, Y., Rahmani Nia, M. and Tabarsa, M., 2017. The effect of cationic hemicellulose from Astragalus gossypinus on drainage and retention of recycled printing and writing paper pulp. Proceedings of the 8th National Seminar on Chemistry and Environment of Iran, Karaj. Available at: https://civilica.com/doc/678226.. In persian

[7] Rahmati, Y., Rahmania, M. and Tabarsa, M., 2016b. Investigating the performance of Astragalus gossypinus as a resistance additive in recycled printing and writing paper pulp. Proceedings of the 8th National Seminar on Chemistry and Environment of Iran, Karaj. Available at: https://civilica.com/doc/678227.. In persian

[8] Najideh, R., Rahmaninia, M. and Khosravani, A., 2021. Cellulose nanofibers made from waste printing and writing papers and its effect on the properties of recycled paper. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 12(2),pp.185-194. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089066.1400.12.2.2.5

[9] Bagheri, S., Rahmaninia, M. and Behrooz, R., 2021. Performance of urea/NaOH as a green solvent in dissolving recycled cellulosic fiber fines residues. Cellulose Chemistry and Technology, 55(9-10), pp.971-979.

[10] Su, N., 2023. Spherical Polyelectrolyte Brushes as Flocculants and Retention Aids in Wet-End Papermaking. Molecules, 28(24), p.7984.https://doi.org/10.3390/molecules28247984

[11] Hubbe, M.A., Rojas, O.J., Argyropoulos, D.S., Wang, Y., Song, J., Sulić, N. and Sezaki, T., 2007. Charge and the dry-strength performance of polyampholytes: Part 2. Colloidal effects. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 301(1-3), pp. 23-32 https://doi.org /10.1016/ j.colsurfa.2006.11.053

[12] Asadpour, G.H., Resalati, H., Dehghani, M.R., Ghasemian, A. and Mohammad Nazhad, M., 2015. Comparison of using single and dual retention aid system on newspaper pulp properties. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 22(2), pp.75–93. Available at: https://sid.ir/ paper/ 156883/en.

[13] TAPPI T 200 sp-01. Laboratory beating of pulp (Valley beater method), Test Method TAPPI/ANSI T 200 sp-21

[14] TAPPI T 227 om-04. Freeness of pulp (Canadian standard method), Test Method T 227 om-21

[16] TAPPI T 261cm-00. Fines fraction by weight of paper stock by wet screening, Test Method T 261 cm-22.

[17] TAPPI T205-sp02. Forming handsheets for physical tests of pulp (Reaffirmation of T 205 sp-02)

[18] TAPPI T 494 om-01. Tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus) (Revision of T 494 om-01)

[19] Schäfer, J.L., Schölch, S., Prucker, O., Brandstetter, T., Rühe, J., Stockert, A.R.V., Meckel, T. and Biesalski, M., 2021. Accessibility of fiber surface sites for polymeric additives determines dry and wet tensile strength of paper sheets. Cellulose, 28(9), pp.5775-5791.https://doi.org/10.1007/s10570-021-03817-7

[20] Fan, J., Li, T., Ren, Y., Qian, X., Wang, Q., Shen, J. and Ni, Y., 2017. Interaction between two oppositely charged starches in an aqueous medium containing suspended mineral particles as a basis for the generation of cellulose-compatible composites. Industrial Crops and Products, 97, pp.417-424.https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.048

[21] Rahmaninia, M., Rohi, M., Ramezani, O. and Zabihzadeh, S.M., 2015. The Effect of Pulp Suspension pH on the Performance of Chitosan–Nanobentoniteas a Dry Strength Additive in Hardwood CMP Pulp. Forest and Wood Products, 68(2), pp.347-357.. https://doi.org/10.22059/jfwp.2015.54836

[22] Rahmaninia, M., Mirshokraei, S.A., Ebrahimi, G. and Nazhad, M.M., 2011. Effect of Cationic Starch-Nanosilica system on retention and drainage of washed OCC pulp.

[23] Merayo, N., Balea, A., de la Fuente, E., Blanco, Á. and Negro, C., 2017. Synergies between cellulose nanofibers and retention additives to improve recycled paper properties and the drainage process. Cellulose, 24(7),pp.2987-3000. https://doi.org/10.1007/s10570-017-1302-1

[24] Wu, C., Li, J.I.N., Zhang, L., Wang, W., Luo, C., Tian, X., Tian, Y., Zhang, X., Wang, C.H.E.N., Wang, R. and Li, J., 2020. Preparation of cationic softwood kraft pulp fibres as retention additive to produce reconstituted tobacco sheet via paper-making. Cell Chem. Technol, 54, pp.505-513.

[25] 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.https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.04.026