جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴
ص۸۱۵-۸۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۵

مقایسهٔ عملکرد کایتوزان در سیستم تک و حاوی نانوذره به منزلهٔ افزودنی پایانهٔ تر در کاغذهای بازیافتی چاپ و تحریر

❖ **خسرو حسینیان؛** کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس نور، ایران
❖ **مهدی رحمانی‌نیا *؛** استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس نور، ایران
❖ **امیر خسروانی؛** استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس نور، ایران

چکیده

به منظور جبران برخی ویژگی های نامناسب کاغذهای بازیافتی، کاربرد مواد شیمیایی کمکی در پایانهٔ تر کاغذسازی می‌تواند مؤثر باشد. در این تحقیق، عملکرد زیست‌بسپار کایتوزان به‌تنهایی و همراه نانوذرهٔ بنتونیت به منزلهٔ افزودنی پایانهٔ تر بر بازیافت کناره‌بری‌های سفید بررسی شد. بدین منظور کارآیی این زیست‌بسپار در سطوح ۰٫۵، ۱، ۱٫۵، و ۲ درصد (بر حسب وزن خشک الیاف) در دو سیستم تک و حاوی نانوذره با یک‌دیگر و با تیمار شاهد مقایسه شد. نتایج نشان داد افزودن مقادیر مختلف کایتوزان به تیمار شاهد (کاغذ فاقد کایتوزان) افزایش شاخص‌های مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن، و مقاومت به پاره شدن را باعث می‌شود. همچنین، در هر دو سیستم بهبود نتایج آبگیری از خمیرکاغذ (افزایش ۱۸٫۷۵ و ۲۳٫۵ درصدی به ترتیب در سیستم تک و نانوذره) و نیز ماندگاری در گذر اول (افزایش ۵ و ۱۰ درصدی به ترتیب در سیستم تک و نانوذره) مشاهده شد. این در حالی بود که کایتوزان همراه نانوذرهٔ بنتونیت عملکردی بهتر در ویژگی‌های یادشده ایجاد کرد. نکتهٔ شایان توجه افزایش غیر قابل انتظار ویژگی‌های مقاومتی در حضور نانوذرهٔ بنتونیت و از سوی دیگر ادامهٔ روند افزایشی ویژگی‌های یادشده با افزایش سطوح مصرف مواد افزودنی (در محدودهٔ آزمون‌شده در این تحقیق) بود.

واژگان کلیدی سیستم نانوذره، شیمی کاغذسازی، کاغذهای بازیافتی، کایتوزان، نانوبنتونیت.

* نویسندهٔ مسئول
Email: rahmaninia@modares.ac.ir

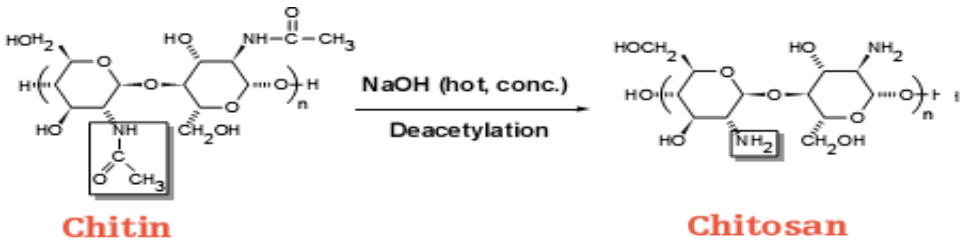
مقدمه

افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و از آن مهم‌تر مسائل اقتصادی به منزلهٔ چرخ اصلی صنایع سبب شده نگاهی جدی به مقولهٔ بازیافت کاغذهای باطله در سطح جهانی به وجود آید [۱ و ۲]. محققان به تأثیر فرایند بازیافت بر کیفیت الیاف بازیافتی و فرایند تولید کاغذ از آن‌ها اشاره کرده‌اند و بسیاری از آنان اثر منفی فرایند بازیافت را بر ویژگی‌های مزبور، به‌خصوص در خمیرهای شیمیایی، اعلام کرده‌اند [۳ و ۴]. این کاهش کیفیت می‌تواند عامل محدودکننده‌ای در مصرف الیاف بازیافتی باشد. کاغذسازان روش‌های مختلفی برای افزایش کیفیت فرایند و محصولات تولیدی از الیاف بازیافتی به کار می‌برند که یکی از آن‌ها استفاده از افزودنی‌های مقاومت خشک است.

به همین منظور، امروزه استفاده از افزودنی‌های شیمیایی مقاومت‌دهنده یا کمک به آبگیری و ماندگاری در پایانهٔ تر کاغذسازی بسیار متداول است و محققان به بسپارهای طبیعی (نشاستهٔ کاتیونی، کایتوزان، انواع صمغ‌های طبیعی مانند گوار، کربوکسی متیل سلولز، و غیره) و سنتزی (خانوادهٔ پلی‌آمین‌ها، انواع ترکیبات پلی‌اکریلامیدی، پلی‌آمفولیت‌ها، و غیره) توجه می‌کنند [۵ـ ۸].

کایتوزان، از مشتقات کیتین، از پلیمرهای طبیعی است که در سال‌های اخیر به آن بسیار توجه شده است. کیتین ماده‌ای نامحلول در آب است که فعالیت شیمیایی آن پایین و رنگش سفید است. از نظر فراوانی اولین آمینو پلی‌ساکارید طبیعی و دومین پلی‌ساکارید طبیعی بعد از سلولز در طبیعت محسوب می‌شود. این ترکیب از اتصال کربن‌های ۱ به ۴ در واحدهای مونومری 2-acetamido-2-deoxy-ß-D-glucose تشکیل می‌شود و از نظر ساختاری شبیه سلولز است؛ با این تفاوت که کیتین گروه‌های استامید (–NHCOCH3) در موقعیت کربن C_2 دارد. این ماده را می‌توان به‌آسانی از سخت‌پوستان دریایی، مانند خرچنگ و میگو، و یک نوع قارچ، به نام میسیلیا، به دست آورد [۸].

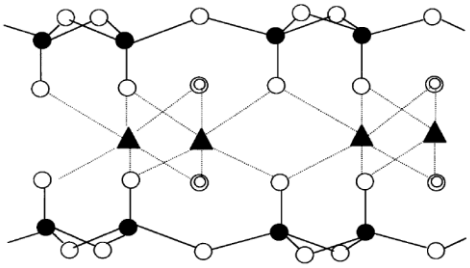
کایتوزان با فرایند استیل‌زدایی و تبدیل گروه‌های استامیدی به آمینی از کیتین مشتق می‌شود. میزان این تبدیل به درجهٔ استیل‌زدایی شدن معروف است. شکل ۱ نحوهٔ تولید کایتوزان را از کیتین نشان می‌دهد.



شکل ۱. نحوهٔ تولید کایتوزان از کیتین [۸]

حضور گروه‌های عاملی آمینی در هر حلقهٔ گلوکزی کایتوزان آن را در محلول‌های اسیدی رقیق قابل حل می‌کند و در شرایط اسیدی ضعیف کایتوزان می‌تواند حامل بار مثبت زیادی باشد. حضور گروه‌های فعال آمینی در کایتوزان و شباهت ساختار مولکولی کایتوزان با سلولز قابلیت این زیست پلیمر را برای استفاده جهت یک افزودنی پایانهٔ تر افزایش می‌دهد. توانایی برقراری پیوند هیدروژنی بین گروه‌های آمینی کایتوزان و گروه‌های هیدروکسیلی الیاف امکان تشکیل پیوندهای الکتروستاتیکی بین آنیون‌های سطح الیاف (به‌ویژه گروه‌های کربوکسیلی) و گروه‌های کاتیونی آمینی و همچنین قابلیت تشکیل پیوند کووالانسی از طریق واکنش گروه‌های آمینی کایتوزان با گروه آلدهیدی الیاف، از جمله تئوری‌های پیونددهی کایتوزان با سطوح سلولزی، است [۱۰].

به منظور استفاده از سیستم حاوی نانوذره، نانوذرات آنیونی مختلف مورد توجه بوده‌اند. نانوذرهٔ بنتونیت از مواردی است که استفاده از آن همراه انواع ترکیبات کاتیونی رایج است [۸ و ۱۱]. بنتونیت به طور عمده از مونت‌موریلونیت، که در ساختار آن اتم‌های سیلیسیوم و آلومینیوم و اکسیژن وجود دارد، تشکیل می‌شود (شکل ۲). فرمول شیمیایی این نوع رس آلومینوسیلیکات $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ است که در حالت خشک به صورت صفحاتی با ضخامت حدود ۱ نانومتر است [۱۱]. بعضی از ویژگی‌های خاص بنتونیت شامل قابلیت جذب آب، قابلیت تورم، سطح ویژه، و بار آنیونی زیاد سبب می‌شود بنتونیت به منزلهٔ ماده‌ای اثرگذار در سیستم‌های بر پایهٔ نانوذرات در کاغذسازی استفاده شوند.



شکل ۲. ساختار عمومی بنتونیت [۱۱]

استفاده از مزایای کایتوزان- از جمله حضور گروه‌های آمینی و هیدروکسیلی فعال، دانسیتهٔ بار مثبت بالا، غیر سمی بودن، زیست‌سازگاری، خواص ضد باکتری و ضد قارچ- این ماده را جهت استفاده در صنایع خمیرکاغذ و کاغذسازی مناسب کرده است [۸ و ۹]. اما امکان بهره‌گیری از این ترکیب در خمیرکاغذهای بازیافتی و عملکرد کایتوزان همراه نانوذرات بنتونیت و مقایسهٔ این دو سیستم کمتر مطالعه شده است؛ هرچند تحقیقات متفاوتی در زمینهٔ استفاده از کایتوزان به صورت سیستم‌های تک و حاوی نانوذره صورت گرفته است. بر همین اساس، در این مطالعه تلاش شد عملکرد کایتوزان به مثابهٔ افزودنی مقاومت خشک پایانهٔ تر در کاغذهای بازیافتی به دو صورت سیستم تک و حاوی نانوذره بررسی شود.

مواد و روش‌ها

خمیرکاغذ مورد نیاز در این تحقیق از کاغذهای باطلهٔ کناره‌بری سفید[1] تهیه شد. بنتونیت استفاده‌شده از نوع بنتونیت سدیم مونت‌موریلونیت شرکت شیمی سبز شرق استان خراسان رضوی بود. این ترکیب به

1. White Cuttings

صورت پودری سفیدرنگ، گذرانده‌شده از غربال با مش ۲۰۰، بود. جهت تهیهٔ محلول بنتونیت مقدار مورد نیاز بنتونیت در آب مقطر به مدت دو ساعت در دمای اتاق به وسیلهٔ هم‌زن پراکنده شد. با توجه به اینکه سوسپانسیون بنتونیت تهیه‌شده پس از قطع هم‌زن ته‌نشین می‌شود، جهت برداشتن نمونهٔ بنتونیت این عمل هنگام هم خوردن سوسپانسیون بنتونیت، به کمک هم‌زن مغناطیسی، صورت گرفت تا از یکنواختی سوسپانسیون اطمینان حاصل شود. همچنین بر اساس دستورالعمل استاندارد TAPPI T200 sp-01، مقدار ۳۸۴٫۱۲ گرم (gr) (برابر ۳۶۰ گرم خمیرکاغذ خشک) کاغذ باطلهٔ مورد نظر در یک ظرف با آب به حجم ۵ لیتر رسانده و به مدت بیست‌وچهار ساعت خیسانده شد. تهیه و رقیق‌سازی خمیرکاغذ با استفاده از آب سختی‌زدایی‌شده (سختی ۲۰ واحد در میلیون (Ppm)) انجام شد. سپس قطعه‌قطعه کردن[1] تکه‌های بزرگ خیس‌خوردهٔ کاغذ با دست انجام شد تا جهت پراکنده‌سازی و پالایش در کوبندهٔ والی[2] طبق استاندارد T200 sp-01 آماده شود. خمیر پالایش‌شدهٔ حاصل بر الک مش ۲۰۰ آبگیری و در دمای حدود ۴ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شد. قبل از افزودن مواد شیمیایی، با استفاده از اسید استیک، pH خمیرکاغذ به ۵٫۵ رسانده شد و متعاقب آن مواد شیمیایی مورد نظر افزوده شد. هدایت الکتریکی خمیرکاغذ قبل از افزوده شدن مواد شیمیایی حدود ۲۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر ($\mu S/cm$) اندازه‌گیری شد. کایتوزان مورد مصرف پودری سفیدرنگ تهیه‌شده از شرکت سیگما- آلدریچ با درجهٔ استیل‌زدایی حدود ۸۵ درصد و درجهٔ پلیمریزاسیون کم بود. کایتوزان مزبور در سطوح ۰٫۵، ۱، ۱٫۵، و ۲ درصد (بر اساس وزن خشک الیاف) به‌تنهایی و همراه مقدار ثابت ۰٫۱ درصد نانوبنتونیت (بر حسب وزن خشک الیاف) طبق شرایط مورد نیاز (جدول ۱) به خمیرکاغذ مزبور افزوده شد. همچنین تیمار شاهد بدون افزودن هیچ‌گونه مادهٔ شیمیایی تهیه شد.

تهیهٔ نمونه‌های کاغذ دست‌ساز مطابق استاندارد TAPPI T205 sp-02 انجام گرفت و وزن پایهٔ کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرم بر متر مربع در نظر گرفته شد. به منظور اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی کاغذ ابتدا نمونه‌های مورد نظر طبق دستورالعمل T220 sp-06 TAPPI آماده شدند. اندازه‌گیری شاخص مقاومت در برابر پاره شدن، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن، و شاخص مقاومت به کشش به ترتیب طبق دستورالعمل‌های T414 om-04، T403 om-02، و T494 om-01 استاندارد TAPPI انجام گرفت. مقادیر ماندگاری کل و قابلیت آبگیری از خمیرکاغذ به ترتیب طبق استانداردهای TAPPI T 261cm-00 و TAPPI T 227 om-99 صورت گرفت. دامنهٔ اندازهٔ نانوذرهٔ بنتونیت سدیمی به کمک دستگاه تصویربرداری نیروی اتمی[3] بررسی شد. در تحلیل آماری داده‌ها نیز از طرح کاملاً تصادفی بهره گرفته شد و به منظور مقایسهٔ میانگین بین تیمارها از آزمون دانکن استفاده شد.

1. Slushing
2. Valley beater
3. Atomic Force Microscopy (AFM)

جدول ۱. شرایط افزودن مواد شیمیایی

pH	حدود ۵/۵
دور هم‌زن هنگام افزودن کایتوزان	۱۰۰۰ دور بر دقیقه (rpm)
مدت زمان هم زدن کایتوزان	۱ دقیقه
دور هم‌زن هنگام افزودن نانوبنتونیت	۸۰۰ دور بر دقیقه
مدت زمان هم زدن نانوبنتونیت	۳۰ ثانیه
درجهٔ روانی خمیر کاغذ پایه	۳۵۰ میلی‌لیتر (درجهٔ روانی کانادایی) (ml. CSF)

یافته‌ها و بحث

تصویر نیروی اتمی

شکل ۳ تصویر نیروی اتمی از ذرات بنتونیت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دامنهٔ اندازهٔ ذرات بنتونیت بین ۱ تا ۳۶ نانومتر است. همچنین حداکثر فراوانی اندازهٔ ذرات در محدودهٔ ۹ تا ۲۸ نانومتر مشاهده می‌شود.

جدول ۲ خلاصهٔ نتایج تجزیهٔ واریانس داده‌های ویژگی‌های بررسی‌شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در همگی ویژگی‌ها بین تیمارهای مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد تفاوت معنادار دیده می‌شود. به عبارت دیگر، افزودن مواد شیمیایی در همهٔ این ویژگی‌ها اثری قابل توجه دارد.

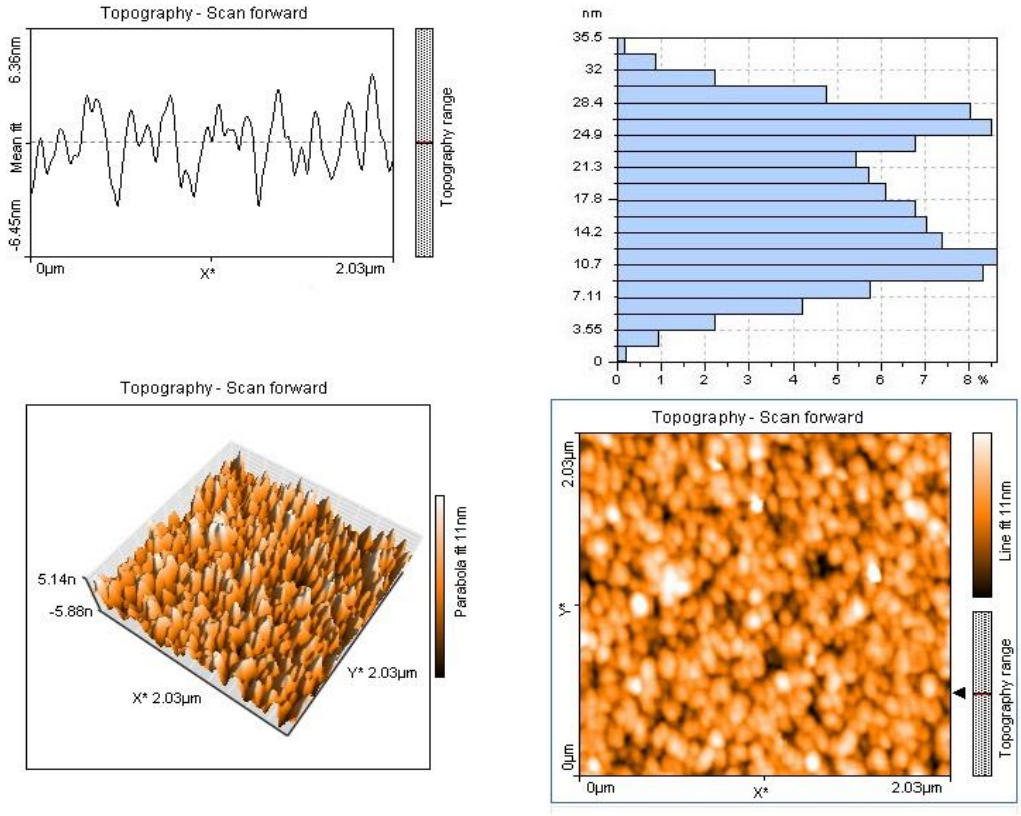
شاخص مقاومت به کشش

شاخص مقاومت به کشش یکی از ویژگی‌های مهم کاغذ است که به تعداد و کیفیت اتصال‌های بین الیاف (وضعیت پیونددهی الیاف) وابسته است [۷]. کایتوزان دارای گروه‌های آمینی روی منومرهای خود است که با ایجاد پیوندهای احتمالی یونی، هیدروژنی، و کووالانسی باعث توسعهٔ هر چه بیشتر پیوندهای بین الیاف می‌شوند [۱۱]. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، کایتوزان به‌تنهایی به صورت یک سیستم تک نسبت به نمونهٔ شاهد باعث افزایش معنادار شاخص مقاومت به کشش می‌شود که تأییدکنندهٔ نتایج سایر گزارش‌های موجود در منابع علمی است [۱۲ـ ۱۷]؛ با این تفاوت که محققان حداکثر تأثیر مثبت کایتوزان را تا سطح ۱ درصد در خمیرکاغذ بکر مشاهده کرده‌اند، در حالی که در این تحقیق افزایش شاخص مقاومت به کشش تا سطح ۲ درصد در خمیرکاغذ بازیافتی ادامه یافت.

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس ویژگی‌های مطالعه‌شده

ویژگی	شاخص مقاومت به کشش (N.m/g)	شاخص مقاومت به ترکیدن ($kPa.m^2/g$)	شاخص مقاومت به پاره شدن ($mN.m^2/g$)	ماندگاری کل (٪)	آبگیری درجهٔ CSF (ml)
تیمارها	**	**	**	**	**

** معنادار در سطح ۹۹ درصد اطمینان



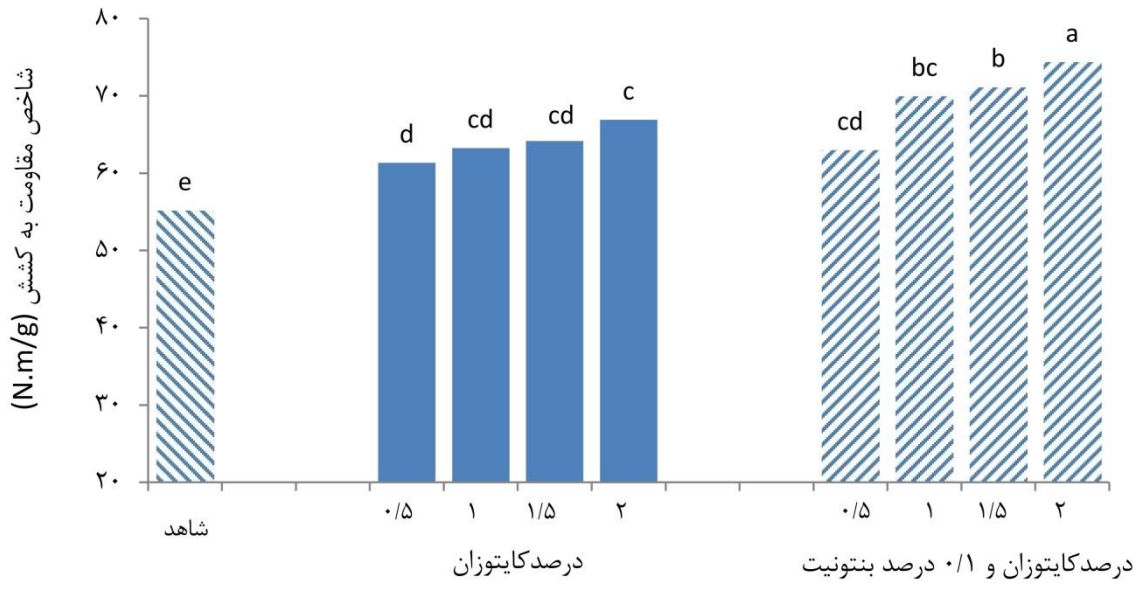
شکل ۳. تصویر حاصل از میکروسکوپ نیروی اتمی و دامنهٔ ضخامت نانوذرات بنتونیت

احتمالاً این نتیجه به دلیل حضور مواد مزاحم آنیونی و پرکننده‌ها در خمیر بازیافتی و نیاز کاتیونی بیشتر است. از سوی دیگر، سیستم کایتوزان- بنتونیت نیز در همهٔ سطوح، به‌خصوص ۲ درصد کایتوزان، عملکرد خوبی داشت و به نظر می‌رسد حضور نانوذرهٔ بنتونیت در کنار کایتوزان با تقویت اتصالات ایجادشده بر اساس تئوری‌های انقباض- هم‌کشیدگی[1] و پل‌های نیمه‌برگشت‌پذیر[2] [۱۸] شاخص مقاومت به کشش را افزایش می‌دهد. می‌توان عملکرد مناسب‌تر سیستم حاوی نانوذره نسبت به سیستم تک کایتوزان را به دلیل اثر بنتونیت بر جمع شدن و کوچک‌تر شدن فلاک‌ها و احتمالاً شکل‌گیری مناسب‌تر در سیستم نانوذره دانست.

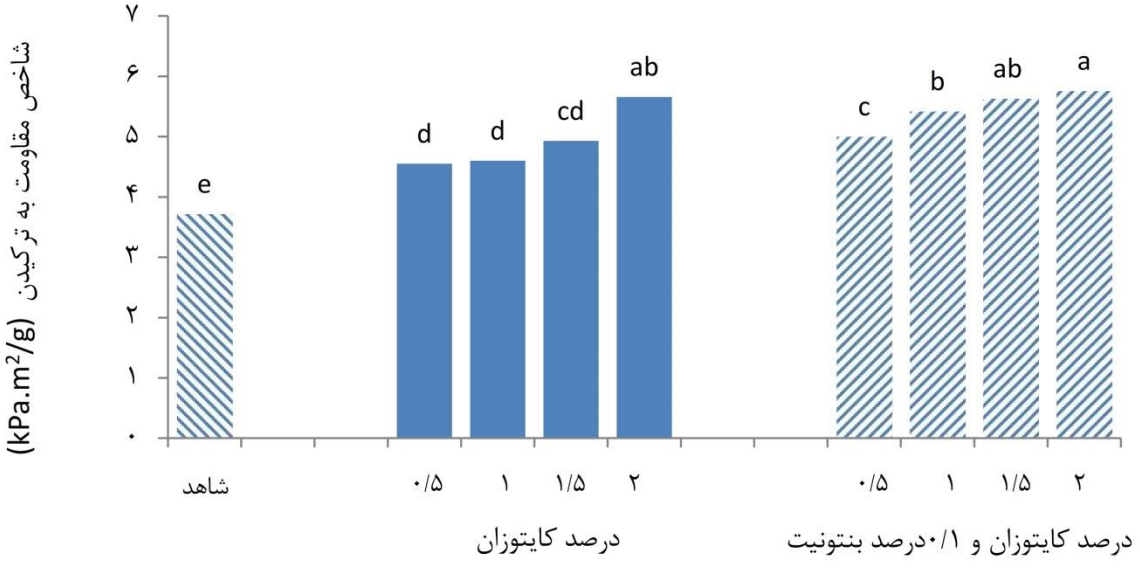
شاخص مقاومت به ترکیدن

از آنجا که شاخص مقاومت به ترکیدن همانند مقاومت به کشش تحت تأثیر پیونددهی الیاف است [۲ و ۷] روند تغییرات آن نیز مشابه شاخص مقاومت به کشش است و هر دو سیستم کایتوزان تک و کایتوزان- بنتونیت در همهٔ سطوح مصرف کایتوزان عملکردی بهتر از تیمار شاهد نشان دادند. در مقایسهٔ عملکرد دو سیستم مطالعه‌شده، عملکرد بهتر سیستم کایتوزان- بنتونیت دربارهٔ این ویژگی قابل مشاهده است که به نظر می‌رسد دلایل آن مشابه دلایلی باشد که پیش از این در خصوص شاخص مقاومت به کشش بیان شد (شکل ۵).

1. Contraction-deswelling
2. Semi-reversible bridging



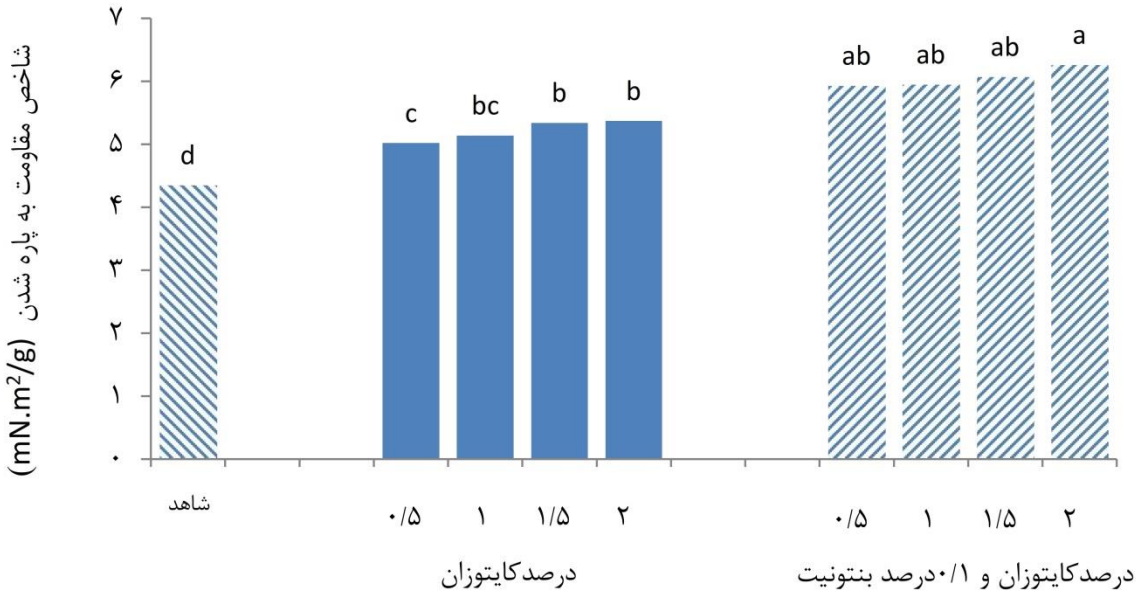
شکل ۴. اثر کایتوزان به صورت یک سیستم تک و همچنین همراه نانوبنتونیت بر شاخص مقاومت به کشش (حروف لاتین روی ستون‌ها گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد)



شکل ۵. تأثیر کایتوزان به صورت تک و همراه نانوبنتونیت بر شاخص مقاومت به ترکیدن (حروف لاتین روی ستون‌ها گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد)

شاخص مقاومت به پاره شدن

تغییرات شاخص مقاومت به پاره شدن در اثر به‌کارگیری کایتوزان به صورت تک و در یک سیستم حاوی نانوذره در شکل ۶ می‌آید. علت افزایش شاخص مقاومت به پاره شدن توسط سیستم تک کایتوزان و کایتوزان همراه بنتونیت را می‌توان افزایش پیونددهی، به‌خصوص پیونددهی سطحی الیاف به کمک پیوندهای احتمالی یونی و کووالانسی و هیدروژنی، دانست. هرچند شاخص مقاومت به پاره شدن در درجهٔ اول تحت تأثیر طول الیاف و قدرت هر فیبر به‌تنهایی است، هنگامی که این دو ویژگی ثابت باشند پیونددهی سطحی نقش اصلی را ایفا می‌کند [۱۹]. در این ویژگی نیز هر دو سیستم کایتوزان و کایتوزان- بنتونیت توانسته‌اند از نظر آماری عملکردی بهتر از تیمار شاهد نشان دهند. همچنین، در هر دو سیستم روند شاخص مقاومت به پاره شدن با افزایش سطح مصرف کایتوزان افزایشی بود. همان‌طور که رحمانی‌نیا و همکاران [۸] گزارش کرده‌اند، سیستم دوتایی کایتوزان- بنتونیت نسبت به کایتوزان به‌تنهایی به طور معنادار بهتر عمل می‌کند.



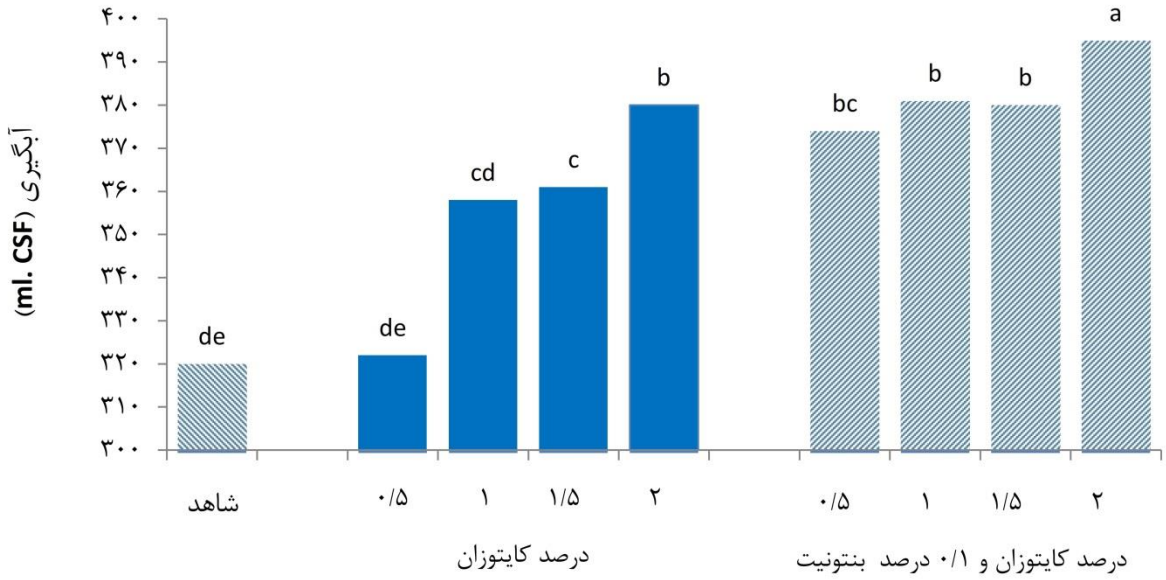
شکل ۶. اثر کایتوزان به صورت یک سیستم تک و همراه نانوبنتونیت بر شاخص مقاومت به پاره شدن (حروف لاتین روی ستون‌ها گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد)

آبگیری از خمیرکاغذ

یکی از شاخص‌های مهم در پایانهٔ تر کاغذسازی قابلیت آبگیری از خمیرکاغذ است. بنابراین، اثر مادهٔ افزودنی پایانهٔ تر بر این ویژگی مهم و قابل بررسی است. همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد هر دو سیستم کایتوزان تک و کایتوزان- بنتونیت در مقایسه با تیمار شاهد (فاقد مادهٔ افزودنی) باعث افزایش

آبگیری می‌شوند. همچنین، در هر دو سیستم با افزایش مصرف کایتوزان این ویژگی روندی افزایشی دارد. نتایج مشخص می‌کند افزودن ترکیبات حاوی پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی با فلاک کردن اجزای سوسپانسیون خمیرکاغذ تا حدی می‌توانند باعث بهبود خروج آب از ورقهٔ الیاف شوند [۱۸]. در واقع به نظر می‌رسد کایتوزان می‌تواند با جذب سطحی بر الیاف و کاهش دافعه و وقوع فرایند پل‌زنی زمینهٔ اتصال آن‌ها و تشکیل فلاک را بهبود دهد و باعث بهبود قابلیت آبگیری شود [۱۴].

همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، بیشترین قابلیت آبگیری از خمیرکاغذ بازیافتی در هر دو سیستم یادشده در سطح مصرف ۲ درصد کایتوزان است؛ طوری که در سیستم تک قابلیت آبگیری خمیرکاغذ از حدود ml. CSF ۳۲۰ در تیمار شاهد به حدود ml. CSF ۳۸۰ (افزایش ۱۸٫۷۵ درصدی) و در سیستم کایتوزان- بنتونیت مقدار آبگیری به حدود ml. CSF۳۹۵ (افزایش ۲۳٫۵ درصدی) افزایش یافت. همچنین، عملکرد مناسب‌تر سیستم کایتوزان- بنتونیت به منزلهٔ یک سیستم نانوذره را می‌توان ناشی از تأثیرگذاری نانوبنتونیت بر شکل و حجم فلاک بر اساس تئوری انقباض- هم‌کشیدگی[1] دانست [۲۰]. این نتایج مؤید موفقیت سیستم نانوذرهٔ آنیونی همراه یک پلی‌الکترولیت کاتیونی در افزایش آبگیری است [۲، ۶، ۸، ۱۸، ۲۰].

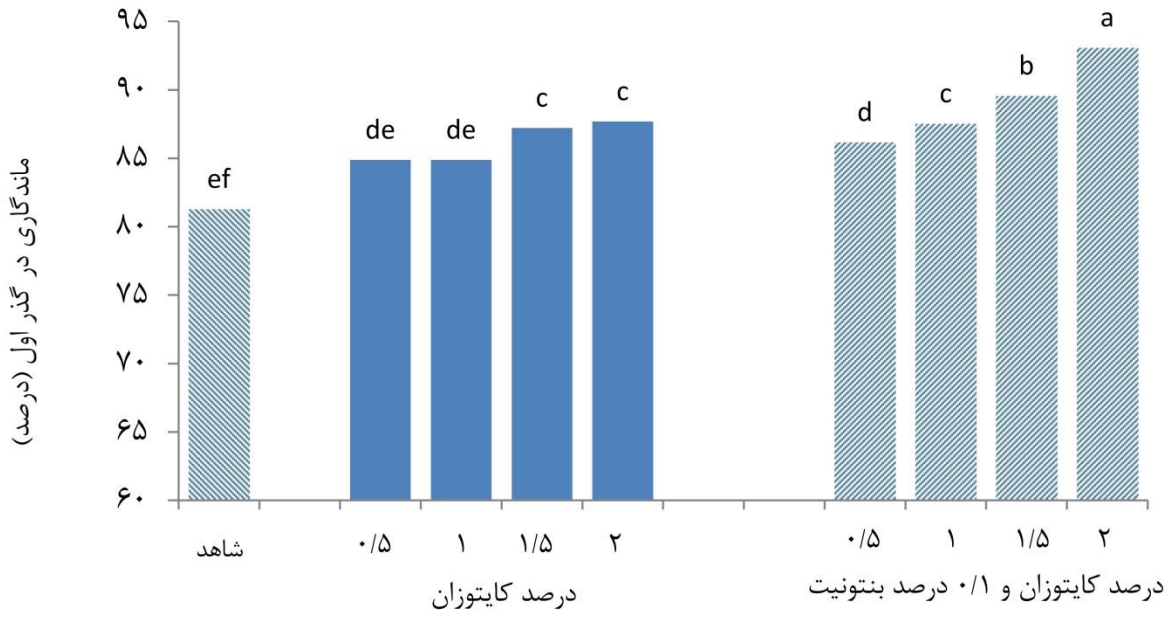


شکل ۷. اثر کایتوزان و کایتوزان همراه نانوبنتونیت بر قابلیت آبگیری (حروف لاتین روی ستون‌ها گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد)[1]

1. Contraction-deswelling

ماندگاری در گذر اول[1]

نگهداری نرمه و پرکننده از مسائل مهم در صنعت کاغذسازی است. مهم‌ترین دستاورد افزایش ماندگاری نرمه و پرکننده حفظ مواد باارزشی است که مزایای فراوانی دارد؛ از جمله افزایش تولید، افزایش کیفیت، و کاهش مواد جامد معلق پساب. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، استفاده از کایتوزان در سیستم تک‌جزئی، به‌خصوص در سطوح بالا، باعث افزایش ماندگاری می‌شود؛ طوری که مقدار ماندگاری ذرات ریز و پرکننده‌های موجود در خمیر بازیافتی از حدود ۸۲ درصد در نمونهٔ شاهد به حدود ۸۷ درصد در سطح ۲ درصد کایتوزان رسید. با توجه به بلندزنجیره بودن پلیمر زیستی کایتوزان و داشتن بار کاتیونی قابل توجه، کایتوزان علاوه بر جذب شدن بر سطح الیاف و کاهش دافعه با فرایند پل‌زنی نیز به تشکیل فلاک کمک می‌کند. همچنین، اثر این پلی‌الکترولیت کاتیونی همراه بنتونیت به منزلهٔ نانوذرهٔ آنیونی بر ماندگاری نرمه‌ها و پرکنندها نشان می‌دهد کایتوزان تعامل مناسبی با بنتونیت دارد و در حقیقت نانوذرات بنتونیت می‌توانند با برقراری اتصال بین زنجیره‌های کایتوزان، از طریق فرایند پل زدن، ذرات ریز را به یک‌دیگر و به الیاف متصل کنند. در دیگر مطالعات نیز عملکرد مثبت سایر نانوذرات در افزایش کارآیی پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی و افزایش قابل توجه ماندگاری در پایانهٔ تر کاغذسازی نیز ناشی از همین دلایل دانسته شده است [۶، ۸، ۱۸].



شکل ۸. اثر کایتوزان و کایتوزان همراه نانوبنتونیت بر ماندگاری در گذر اول
(حروف لاتین روی ستون‌ها گروه‌بندی دانکن را نشان می‌دهد)

1. First Pass Retention

نکتهٔ دیگر اینکه معمولاً در سیستم‌های حاوی نانوذره لازم است تعادل مناسبی بین میزان مصرف پلی‌الکترولیت و نانوذره وجود داشته باشد. مصرف بیشتر مواد افزودنی تأثیر چندانی بر قابلیت آبگیری و ماندگاری ندارد و حتی ممکن است باعث افت این ویژگی‌ها شود [۲، ۶، ۲۰]؛ در حالی که نتایج شکل ۶ و ۷ نشان می‌دهند در این مطالعه مصرف بیشتر کایتوزان همراه بنتونیت، حتی به میزان ۲ درصد، باعث افزایش ماندگاری (شکل ۷) و قابلیت آبگیری (شکل ۶) می‌شود. شاید بتوان این موضوع را با بازیافتی بودن ماهیت خمیر مورد آزمایش مرتبط دانست و نتیجه گرفت در خمیرهای بازیافتی میزان مصرف یا تعادل بین جزء پلی‌الکترولیت کاتیونی سیستم و نانوذرات آنیونی در درصدهای مصرف بیشتری از پلی‌الکترولیت کاتیونی اتفاق می‌افتد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد کایتوزان می‌تواند در سیستم تک‌جزئی نیز به مثابهٔ یک افزودنی پایانهٔ تر کاغذسازی باعث افزایش معنادار شاخص‌های مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن، و مقاومت به پاره شدن و همچنین افزایش آبگیری و ماندگاری نسبت به نمونهٔ شاهد شود؛ اما، به طور کلی در این تحقیق بهترین نتایج مقاومتی (شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پاره شدن) و نیز آبگیری و ماندگاری در تیمار متشکل از کایتوزان و نانوذرهٔ بنتونیت به منزلهٔ یک سیستم حاوی نانوذره مشاهده شد. به عبارت دیگر، کایتوزان به‌تنهایی و همچنین همراه نانوذره می‌تواند عملکرد درخور توجهی ارائه دهد؛ هرچند سیستم حاوی نانوذره موفق‌تر است.

از سوی دیگر در هر دو سیستم با افزایش مصرف کایتوزان تا سطح ۲ درصد همهٔ ویژگی‌های اشاره‌شده روندی افزایشی نشان دادند. این نتیجه با نتایج برخی محققان دربارهٔ خمیر بکر منافات دارد. به نظر می‌رسد آشغال‌های آنیونی و پرکننده‌های موجود در خمیر بازیافتی سبب افزایش نیاز کاتیونی خمیر بازیافتی می‌شود و مصرف پلی‌الکترولیت را افزایش می‌دهد. در انتها باید اشاره کرد انتخاب تیمار بهینه منوط به بررسی نیازهای خط تولید، اعم از میزان هدایت الکتریکی، pH، میزان آشغال‌های آنیونی، و توانایی انطباق با تکنولوژی موجود در خط تولید است.

References

[1]. Khosravani, A. and Rahmaninia, M. (2012). Paper recycling, an old but still effective solution. Lignocelluloses, 1(3): 164-165.

[2]. Rahmaninia, M., Mirshokraei, S. A., Ebrahimi, Gh., and Nazhad, M. M. (2011). Effect of cationic starch-nanosilica system on retention and drainage of washed OCC pulp. Journal of Forest and Wood Products, 64(1): 15-22.

[3]. Hubbe, M. A., Venditti, R. A., Barbour, R. L., and Zhang, M. (2003). Changes to unbleached kraft fibers due to drying and recycling. Progress in Paper Recycling, 12(3): 11-20.

[4]. Bawden, A. D. and Kibblewhite, R. P. (1997). Effects of multiple drying treatments on kraft fiber walls. Journal of Pulp and Paper Science, 23(7): 340-346.

[5]. Rahmaninia, M. and Khosravani, A. (2014). Improving the paper recycling process of old corrugated container wastes. Cellulose Chemistry and Technology, 49(2): 203-208.

[6]. Khosravani, A., Jahan Latibari, A., Mirshokraei S. A., Rahmaninia, M., and Nazhad M. M. (2010). Studying the effect of cationic starch-anionic nanosilica system on retention and drainage. Bioresources, 5(2): 939-950.

[7]. Hubbe, M. A. (2006). Bonding between cellulosic fibers in the absence and presence of dry-strength agents. Bioresources, 1(2): 281-318.

[8]. Rahmaninia, M., Rohi, M., Ramezani, O., and Zabihzadeh, S. M. (2015). The effect of pulp suspension pH on the performance of chitosan –nanobentonite as a dry strength additive in hardwood CMP pulp. Journal of Forest and Wood Products, 68 (2), 347-357.

[9]. Chattopudhyay, D. P. and Inamdar M. (2010). Aqueous behavior of chitosan. International Journal of Polymer Science, doi:10.1155/2010/939536, 1-7.

[10]. Nikolaeva, M. (2010). Measurement and improvement of wet paper web strength. Master Degree Program in Chemical and Process Engineering. Lappeenranta University of Technology: 38-40.

[11]. Vanerek, A., Alince, B., and Van de ven, T. G. M. (2006). Bentonite delamination induced by pulp fibers under high shear monitored by calcium carbonate deposition. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 280 (1-3): 1-8.

[12]. 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): 577-583.

[13]. Nicu, R., Bobu, E., and Desbrieres, J. (2011). Chitosan as cationic polyelectrolyte in wet-end papermaking systems. Cellulose Chemistry and Technology, 45(1-2): 105-111.

[14]. Chi, H., Li, H., Liu, W., and Zhan H. (2007). The retention and drainage aid behavior of quaternary chitosan in papermaking system. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 297: 147–153.

[15]. Myllytie, P., Salmi, J., and Laine, J. (2009). The influence of pH on the adsorption and interaction of chitosan with cellulose. Bioresources, 4(4): 1647-1662.

[16]. Sarwarjahan, M., Noori, A., Ahsan, L., Chowdhuri, D. A., and Nasima, M. A. (2009). Effect of chitosan as dry and wet strength additive in bambo and acasia pulp. IPPTA, 21(2): 85-89.

[17]. Ashori, A., Harun, J., Zin, W. M., and Yusoff, M. N. M. (2006). Enhancing dry-strength

properties of kenaf (Hibiscus Cannabinus) paper through chitosan. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 45(1): 125-129.

[18]. Hubbe, M. A. (2005). *Micro and Nanoparticles in Papermaking*, J. M. Rodriguez (ed.), TAPPI Press, Atlanta, GA, USA.pp.197.

[19]. Kermanian, H., Ramezani, O., Razmpour, Z., Mahdavi, S., Rahmaninia, M., and Ashtari, H. (2013). The influence of refining history of waste NSSC paper on its recyclability. Bioresources, 8(4): 5424-5434.

[20]. Khosravani, A., Jahan Latibari, A., Tajvidi, M., Mirshokraei, S. A, and Nazhad, M. M. (2010). Studying the influence 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.