

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۴

ص ۸۳۱-۸۴۰

تأثیر افزودن نانوکایتوزان بر ویژگی‌های فرایندی و کیفی کاغذ چاپ و تحریر تهیه‌شده از الیاف بازیافتی

- ❖ مهدی رحمانی‌نیا*؛ استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- ❖ خسرو حسینیان؛ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- ❖ امیر خسروانی؛ استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

چکیده

بهبود فرایند تولید و ویژگی‌های کاغذهای تهیه‌شده از الیاف بازیافتی از معضلات مهم صنایع کاغذسازی است. در این تحقیق، تأثیر افزودن نانوذرات کایتوزان بر کیفیت فرایند و محصول تولیدی از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر بررسی شد. ریزساختار بودن نانوکایتوزان و امکان دسترسی بیشتر به فضاهای بین اجزای سوسپانسیون خمیرکاغذ در کنار احتمال پیونددهی الکتروستاتیکی و هیدروژنی از ویژگی‌های این نانوذره محسوب می‌شود. به این منظور ابتدا نانوکایتوزان تهیه شد و ابعاد و شکل نانوذرات به کمک میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FE-SEM) تأیید شد. تغییرات طیف مادون قرمز نیز پس از تبدیل کایتوزان به نانوکایتوزان بررسی و کاهش گروه NH_2 -کایتوزان و ایجاد گروه‌های CONH- بر اثر وقوع واکنش بسپار شدن بین کایتوزان و متاکریلیک اسید تأیید شد. سپس نانوکایتوزان در چهار سطح (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد براساس وزن خشک خمیرکاغذ) استفاده شد. نتایج بیانگر قابلیت نانوکایتوزان در افزایش ویژگی‌های مقاومتی (شاخص‌های مقاومت به کشش، ترکیدن و پاره شدن) و همچنین ویژگی‌های فرایند تولید (آبگیری و ماندگاری نرمه و پرکننده در ورقه کاغذ) نسبت به تیمار شاهد (بدون ماده افزودنی) بود. همچنین مقایسه نانوکایتوزان و کایتوزان در سطح مصرف یکسان (۱ درصد براساس وزن خشک خمیرکاغذ) نشان‌دهنده عملکرد یکسان دو پلیمر کاتیونی در ویژگی‌های مقاومتی و عملکرد بهتر کایتوزان در ویژگی‌های فرایندی است. همچنین هر دو پلی الکترولیت مزبور در سطح مصرف یکسان (۱ درصد براساس وزن خشک خمیرکاغذ) از نشاسته کاتیونی عملکرد بهتری در ویژگی‌های مقاومتی نشان دادند.

واژگان کلیدی: آبگیری، کاغذ بازیافتی، کایتوزان، ماندگاری، نانوکایتوزان، ویژگی‌های مقاومتی.

مقدمه

طبیعی محسوب می‌شود. به نظر می‌رسد وجود گروه‌های هیدروکسیلی و به‌ویژه آمینی در این ماده افزودنی، شرایط را برای ایجاد انواع پیوند هیدروژنی، یونی و حتی کووالانسی آماده کرده است. در سال‌های اخیر تهیه نانوکایتوزان از کایتوزان مطرح شده و تاکنون کاربردهای متنوعی برای این محصول یافت شده است. از آنجا که نانواعاد شدن این بایوپلیمر به معنای ایجاد برخی ویژگی‌های مثبت (قابلیت نفوذ در فضای دور از دسترس بین الیاف، کاهش طول و عدم برهم ریختن شکل‌گیری ورقه الیاف نسبت به پلیمرهای بلندزنجیر کاتیونی و غیره) متفاوت با پلیمر اولیه است، بررسی تأثیر افزودن آن در عرصه‌های مختلف به‌عنوان جایگزین کایتوزان همواره مطرح بوده است. از این رو در این پژوهش، ابتدا کایتوزان به روش شیمیایی به نانوکایتوزان تبدیل شد و پس از بررسی ویژگی‌های نانوکایتوزان تولیدی، تأثیر استفاده از آن بر فرایند تولید (وضعیت آبگیری و ماندگاری نرمه در گذر اول) و ویژگی‌های محصول تولیدی (شاخص‌های مقاومت به کشش، ترکیدن و پاره شدن) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ از کاغذهای باطله کناره‌بری سفید تهیه شد. به این منظور براساس دستورالعمل TAPPI T200 sp-01، ۳۶۰ گرم کاغذ باطله (وزن خشک) مورد نظر در یک ظرف به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد. تهیه و رقیق‌سازی خمیر کاغذ با استفاده از آب یون‌زدایی شده (هدایت الکتریکی ۲۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) انجام گرفت. سپس عمل قطعه‌قطعه کردن تکه‌های بزرگ خمیر خورده کاغذ با دست انجام گرفت تا به منظور پراکنده‌سازی و پالایش در کوبنده والی

استفاده از افزودنی‌های شیمیایی در پایانه تر کاغذسازی به منظور بهبود کیفیت محصول یا فرایند تولید امری متداول است [۱، ۲]. این مسئله در الیاف بازیافتی به علت شرایط خاص آن از اهمیت زیادی برخوردار است. بازیافت کاغذهای باطله به طور معمول با افزایش مقدار نرمه‌ها همراه است. وجود مقادیر زیاد نرمه در منابع الیاف بازیافتی از یک طرف مسئله کاهش تولید (به علت قابلیت ماندگاری کم این نرمه‌ها) را مطرح می‌کند و از طرف دیگر نه تنها سبب مشکلاتی در خواص کاغذ می‌شوند، بلکه در ویژگی‌هایی مانند آبگیری به خصوص در کاغذهایی با وزن پایه زیاد اختلال ایجاد می‌کنند. این مسئله نشان می‌دهد که مدیریت مطلوب و استفاده بهینه از نرمه‌ها در سیستم کاغذسازی حساس است. همچنین نباید فراموش کرد که الیاف بازیافتی از نظر فرایندهای کاغذسازی و عمل خشک شدن (پدیده شاخی شدن)^۱ که روی آن صورت گرفته است، خواص متفاوتی نسبت به الیاف بکر دارند و به طور معمول با کاهش ظرفیت اتصال و واکنشیدگی الیاف همراه اند [۳].

در این میان به طور قطع استفاده از محصولات طبیعی از جهات مختلف نسبت به ترکیبات سنتزی از اولویت خاصی برخوردار است. کایتوزان که مشتق استیل‌زدایی شده کیتین است، در تحقیقات متعددی به‌عنوان افزودنی طبیعی به الیاف کاغذسازی افزوده شده است [۴-۷]. اثر این ترکیب بر ویژگی‌های مقاومتی الیاف بازیافتی نیز بررسی شده است [۸]. کایتوزان بایوپلیمری با ساختار 2-amino-2-deoxy-β-D-glucose بوده و از نظر فراوانی دومین پلی‌ساکارید

برای افزودن مواد شیمیایی، ابتدا خشکی خمیر کاغذ به ۰/۵ درصد رسانده شد و با استفاده از اسید استیک، pH خمیر کاغذ در حدود ۵/۵ تنظیم و متعاقب آن مواد شیمیایی مورد نظر افزوده شد. هدایت الکتریکی خمیر کاغذ قبل از افزوده شدن مواد شیمیایی حدود ۲۰۰ $\mu\text{S}/\text{cm}$ اندازه‌گیری شد. نانوکایتوزان در سطوح ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد (براساس وزن خشک الیاف) در شرایط ثابت (جدول ۱) به خمیر کاغذ افزوده و نتایج آن با نتایج حاصل از کایتوزان در همین سطوح سنجیده شد. تیمار شاهد نیز بدون افزودن هیچ‌گونه ماده شیمیایی تهیه شد.

جدول ۱. شرایط افزودن مواد شیمیایی

حدود ۵/۵	pH
۱۰۰۰rpm	دور همزن به‌هنگام افزودن
۱ دقیقه	مدت زمان هم زدن کایتوزان
۳۵۰ml. (CSF)	درجه روانی خمیر کاغذ پایه

تهیه نمونه‌های کاغذ دست‌ساز بر پایه استاندارد TAPPI T205 sp-02 انجام گرفت و وزن پایه کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرم بر متر مربع در نظر گرفته شد. به‌منظور اندازه‌گیری خصوصیات مکانیکی کاغذ، ابتدا نمونه‌ها براساس دستورالعمل TAPPI T220 sp-06 آماده شدند. اندازه‌گیری شاخص‌های مقاومت به پارگی، شکنندگی و کشش به‌ترتیب براساس دستورالعمل‌های T414 om-04، T403 om-02 و T494 om-01 استاندارد TAPPI انجام گرفت. ماندگاری کل و قابلیت آبیگری از خمیر کاغذ نیز به‌ترتیب براساس استانداردهای TAPPI T 261cm- و TAPPI T 227 om-99 محاسبه شد. در بررسی آماری نتایج، از طرح کاملاً تصادفی و آزمون تجزیه

(Valley beater) براساس استاندارد T200 sp-01 آماده شود. خمیر پالایش‌شده حاصل، بر روی الک مش ۲۰۰، آبیگری و در دمای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

کایتوزان مصرفی به‌صورت پودر سفید تهیه‌شده از شرکت سیگما-آلد ریچ با درجه استیل‌زدایی حدود ۸۵ درصد و درجه پلیمریزاسیون کم (۱۲۰-۱۰۰ کیلوالتون) بود. نانوکایتوزان براساس روش اصلاح‌شده دمورا و همکاران [۹] تهیه شد. بر این اساس آب مقطر به کایتوزان با نسبت ۱۰ به ۱ (w/v)، اضافه شد و تحت دمش گاز نیتروژن و حرارت قرار گرفت تا به دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد رسید و ۲ ساعت در این دما باقی ماند. سپس محلول متاکریلیک اسید ۱ درصد به‌صورت قطره‌قطره به مخلوط کایتوزان و آب مقطر اضافه شد، به‌طوری که نسبت متاکریلیک اسید به وزن خشک کایتوزان ۱ به ۱ (w/v) باشد. در ادامه، اختلاط به‌مدت ۲ ساعت دیگر تحت دمش گاز نیتروژن ادامه یافت. سپس پرسولفید پتاسیم با نسبت ۱ به ۲۰ نسبت به وزن خشک کایتوزان، اضافه شد و فرایند به‌مدت ۲ ساعت تحت دمش گاز نیتروژن ادامه یافت. در مرحله آخر، محلول حاصل به‌مدت ۲ ساعت در حمام آب یخ قرار گرفت و pH محلول با استفاده از اسید استیک در حدود ۵/۵ تنظیم شد. اندازه ذرات نانوکایتوزان از دستگاه تصویبرداری نیروی اتمی مدل Easy Scan 2 Flex ساخت سوییس و نیز از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی Tescan ساخت چک بررسی شد. برای آنالیز شیمیایی نانوکایتوزان تولیدی نیز، طیف مادون قرمز کایتوزان و نانوکایتوزان توسط دستگاه FTIR SHMADZU 8400-S مجهز به ATR تهیه شد.

تولیدی کمتر از ۱۰۰ نانومتر و حداکثر فراوانی اندازه ذرات، در محدوده ۷۰-۶۰ نانومتر مشاهده شد.

واریانس استفاده شد. مقایسه میانگین بین تیمارها با آزمون دانکن صورت گرفت

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (FE-SEM) نانوکایتوزان

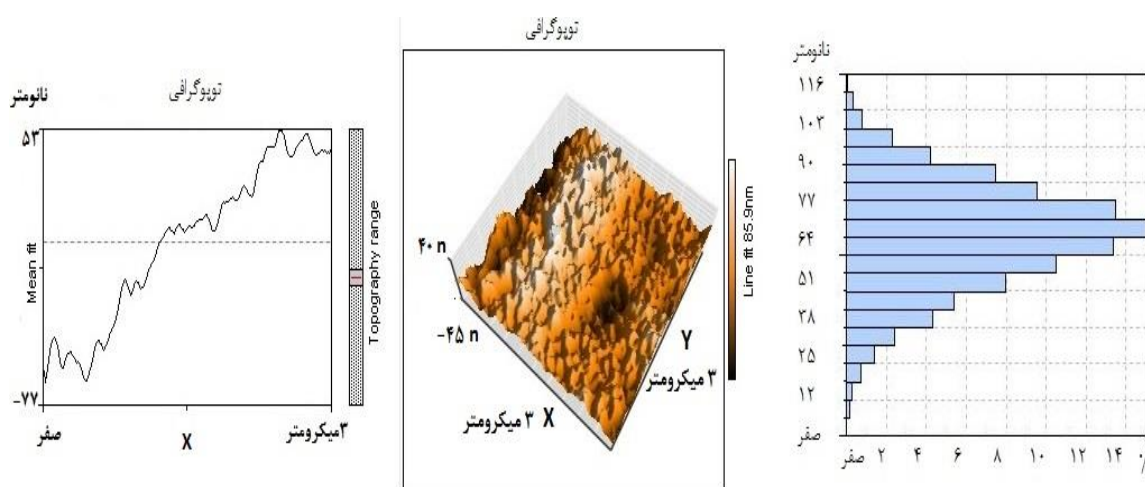
برای بررسی دقیق تر شکل و ابعاد ذرات نانوکایتوزان از روش FE-SEM استفاده شد. شکل ۲ به خوبی ساختار کروی ذرات با قطر نانومتری آنها را نشان می دهد.

نتایج و بحث

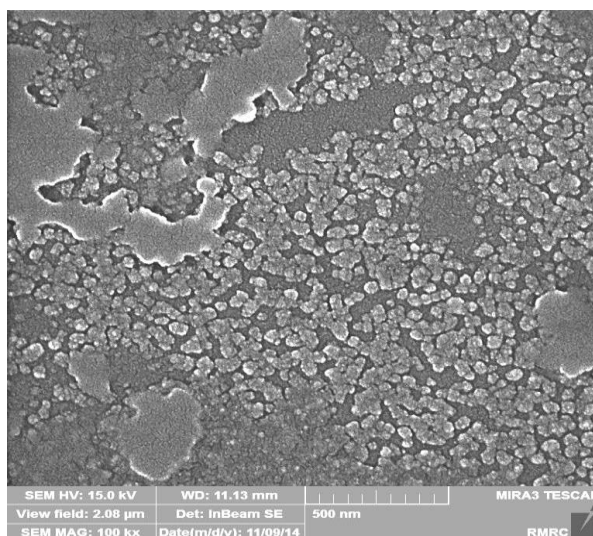
تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)

نانوکایتوزان

همان طور که در شکل ۱ دیده می شود، ابعاد نانوذرات



شکل ۱. تصویر حاصل از میکروسکوپ نیروی اتمی و دامنه اندازه نانوذرات کایتوزان



شکل ۲. تصویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی نانوذرات کایتوزان

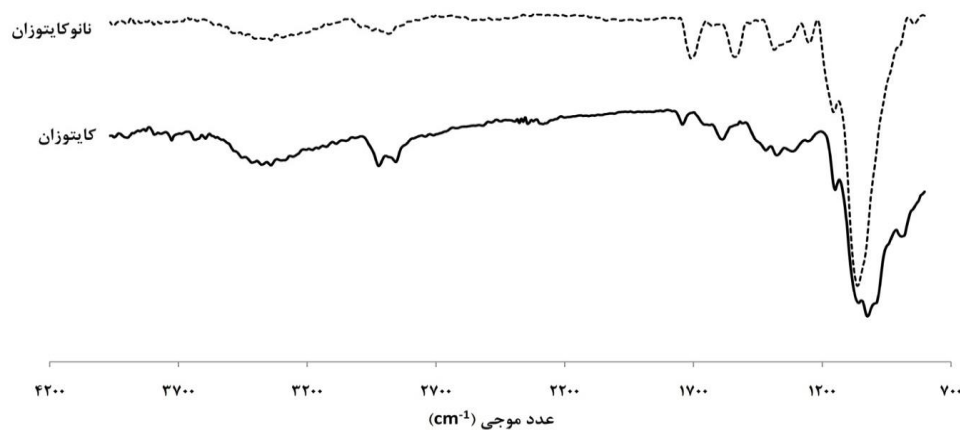
کششی C=O موجود در گروه آمیدی باقی مانده پس از فرایند دی‌استیلاسیون کیتین به کایتوزان نسبت داد [۱۰]. بررسی طیف نانوکایتوزان، بیانگر وجود پیک‌های مشخص در طول موج‌های ۱۷۲۸ و 1558 cm^{-1} است که می‌توان آن را به فرایند تولید نانوکایتوزان و وقوع واکنش پلیمریزاسیون بین کایتوزان محلول و متاکریلیک اسید و ایجاد گروه‌های CONH- مرتبط دانست [۱۰].

خلاصه تحلیل آماری نتایج

جدول ۲، خلاصه نتایج تجزیه واریانس تیمارها در ویژگی‌های بررسی شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تفاوت تیمارها در سطح ۱ درصد در تمامی ویژگی‌ها معنی‌دار است.

آنالیز طیف مادون قرمز کایتوزان و نانوکایتوزان

شکل ۳ نشان‌دهنده طیف FTIR کایتوزان و نانوکایتوزان است. با توجه به طیف کایتوزان، می‌توان به وجود گروه‌های آمینی و آمیدی اشاره کرد. پیک متقارن $3400-3300 \text{ cm}^{-1}$ در واقع همپوشانی از ارتعاش کششی گروه‌های آمین آزاد (NH_2) و هیدروکسیل در کایتوزان است. همچنین پیک‌های محدوده $1150-890 \text{ cm}^{-1}$ را می‌توان به ارتعاش کششی پیوند C-O-C در زنجیره گلیکوزیدی بین منومرهای کایتوزان نسبت داد. پیک در عدد موجی 1589 cm^{-1} را نیز می‌توان مربوط به ارتعاش خمشی گروه NH_2 متصل به حلقه کایتوزان دانست که در طیف مربوط به نانوکایتوزان ناپدید شده است. پیک مشاهده‌شده در 1743 cm^{-1} را نیز می‌توان به ارتعاش



شکل ۳. طیف مادون قرمز کایتوزان و نانوکایتوزان

جدول ۲. خلاصه نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های مکانیکی و فرایندی مورد بررسی

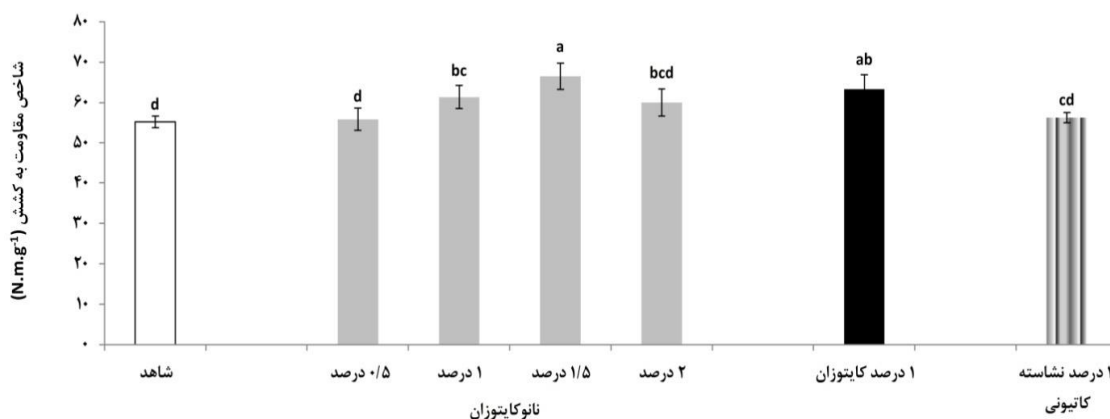
ویژگی‌ها منع تغییرات تیمارها	شاخص مقاومت به ترکیدن ($\text{kPa.m}^2/\text{g}$)	شاخص مقاومت به کشش (N.m/g)	شاخص مقاومت به پاره شدن ($\text{mN.m}^2/\text{g}$)	آبگیری ml. (CSF)	ماندگاری نرمه و پرکننده (درصد)
**	**	**	**	**	**

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد خطا

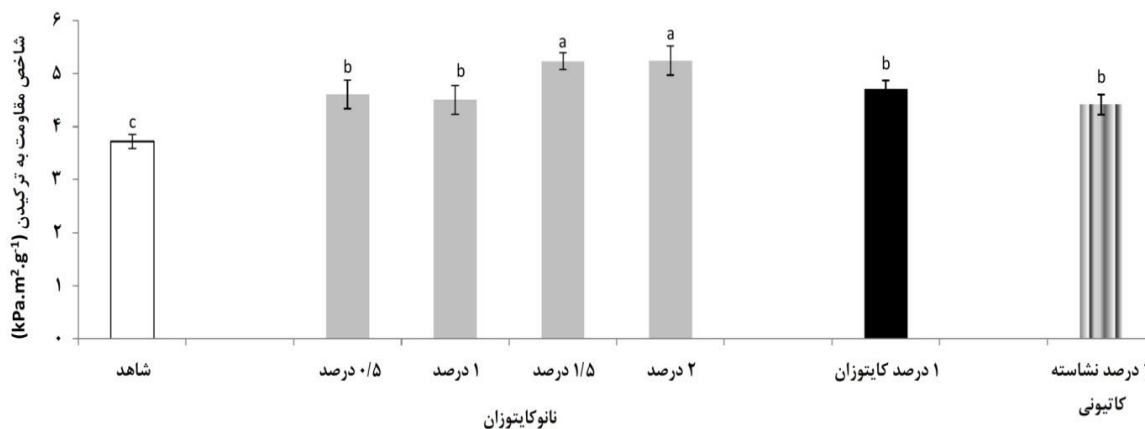
شاخص‌های مقاومت به کشش و ترکیدن

بر اساس شکل‌های ۴ و ۵، تیمار الیاف با نانوکایتوزان، کایتوزان و نشاسته کاتیونی سبب بهبود شاخص‌های مقاومت به کشش و ترکیدن نسبت به تیمار شاهد شد. البته این افزایش در بعضی از تیمارها چندان شایان توجه نبود. همچنین افزایش مصرف نانوکایتوزان نتایج مثبتی بر شاخص‌های مقاومت به کشش و ترکیدن داشت. کایتوزان و نانوکایتوزان هر دو بر روی منومرهای خود، گروه‌های فراوان آمینی و همچنین

هیدروکسیلی دارند که با ایجاد پیوندهای احتمالی الکتروستاتیکی، هیدروژنی و کووالانسی سبب توسعه هرچه بیشتر پیوندهای بین الیاف می‌شوند. احتمال می‌رود همین فراوانی گروه‌های عاملی واکنش‌دهنده در نانوکایتوزان نگرانی از ماندگار نبودن نانوکایتوزان در هنگام تشکیل ورقه الیاف را برطرف می‌کند و سبب حصول نتایج ذکر شده می‌شود. یافته‌های محققان دیگر نیز تأییدکننده عملکرد مثبت کایتوزان در افزایش این مقاومت بوده است [۴].



شکل ۴. تأثیر افزودن نانوکایتوزان، کایتوزان و نشاسته بر شاخص مقاومت به کشش در کاغذهای بازیافتی (حروف لاتین گروه‌بندی دانکن در سطح ۱ درصد خطا نشان می‌دهند)

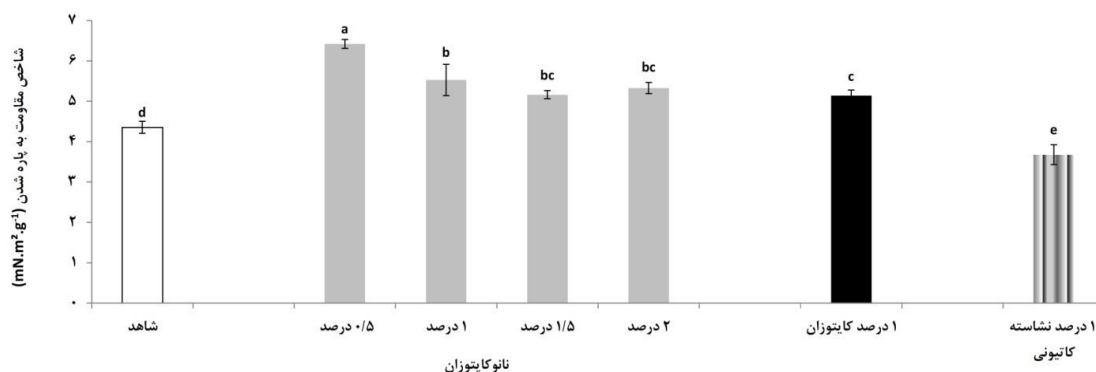


شکل ۵. تأثیر افزودن نانوکایتوزان، کایتوزان و نشاسته بر شاخص مقاومت به ترکیدن در کاغذهای بازیافتی (حروف لاتین گروه‌بندی دانکن در سطح ۱ درصد خطا نشان می‌دهند)

شاخص مقاومت به پاره شدن

در شاخص مقاومت به پاره شدن طول الیاف، مقاومت ذاتی الیاف و وضعیت پیوندی بین الیاف از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر این ویژگی اند [۱۱]. دو عامل ابتدایی در این پژوهش در تمامی تیمارها از وضعیت مشابهی برخوردارند. از این رو تغییر در وضعیت توسعه پیوندی می‌تواند تا حدودی بر این ویژگی اثرگذار باشد. همان‌طور که در شاخص‌های مقاومت به ترکیدن و کشش مشاهده شد، کایتوزان و نانوکایتوزان به‌علت دارا بودن گروه‌های عاملی هیدروکسیلی و آمینی قابلیت افزایش پیونددهی بین اجزای سوسپانسیون خمیرکاغذ را دارند. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، این وضعیت در افزایش شاخص مقاومت به پاره شدن نسبت به تیمار شاهد در تیمارهای دارای نانوکایتوزان و کایتوزان نیز مشاهده می‌شود. البته افزودن ۱ درصد وزن خشک خمیرکاغذ نشاسته کاتیونی تأثیری در افزایش این ویژگی نداشته است. احتمال می‌رود بازیافتی بودن خمیرکاغذ و وجود مواد مزاحم آنیونی از یک طرف و تعداد اندک گروه‌های آمینی در نشاسته کاتیونی از علل این نتیجه باشند. همچنین سطوح مختلف نانوکایتوزان اندک عملکرد بهتری نسبت به کایتوزان از خود نشان داده‌اند. احتمال می‌رود این نتیجه به امکان حضور نانوکایتوزان به‌نسبت کایتوزان در فضاهای دور از دسترس بین اجزای سوسپانسیون منتسب باشد. بین سطوح مصرف نانوکایتوزان (به‌جز اندکی تفاوت در سطح ۰/۵ درصد) تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود.

اساس تفکر استفاده از نانوکایتوزان، ایجاد امکان دسترسی به پلیمر برای حضور در فضاهای بیشتر و به‌ویژه فضاهای دور از دسترس بین الیاف برای پلیمر است. به‌نظر می‌رسد این منظور محقق شده است؛ اما از آنجا که سطح این فضاها در بین الیاف بسیار وسیع است، به‌نظر می‌رسد سطوح مصرف بیشتری از نانوذره برای ایجاد اتصالات بیشتر لازم باشد. نکته جالب توجه در این زمینه امکان استفاده از درصدهای بیشتر نانوکایتوزان نسبت به کایتوزان در سوسپانسیون خمیرکاغذ است. دلیل این مطلب، قابلیت نفوذ نانوذره کایتوزان (برخلاف پلیمر کایتوزان که به احتمال زیاد بیشتر به سطح می‌چسبد) است؛ چراکه پیش‌بینی می‌شود در این حالت به‌علت نفوذ، سطح اشباع از نانوکایتوزان نشده و احتمالاً پتانسیل زتا نیز مثبت نمی‌شود. در مقابل نفوذ ناقص پلی‌الکترولیت کایتوزان و اتصال به سطح الیاف با مثبت کردن سریع پتانسیل زتا سبب کاهش مقدار مصرف آن در سوسپانسیون (حداکثر تا ۱ درصد وزن خشک خمیر) بوده است [۴]. به همین علت مقایسه عملکرد بیشترین مقدار قابل مصرف کایتوزان (۱ درصد وزن خشک خمیر) با همین مقدار مصرف از نانوکایتوزان جالب خواهد بود. در مقایسه عملکرد کایتوزان و نانوکایتوزان تفاوت چندانی دیده نمی‌شود و این دو افزودنی عملکرد مشابهی نشان دادند. به‌نظر می‌رسد از آنجا که نانوکایتوزان هنوز امکان مقدار مصرف بیشتری در خمیر دارد، می‌توان در صورت نیاز به رسیدن به مقادیر بیشتر مقاومتی از آن بهره گرفت.



شکل ۶. تأثیر افزودن نانوکایتوزان، کایتوزان و نشاسته بر شاخص مقاومت به پاره شدن در کاغذهای بازیافتی (حروف لاتین گروه‌بندی دانکن در سطح ۱ درصد خطا را نشان می‌دهند)

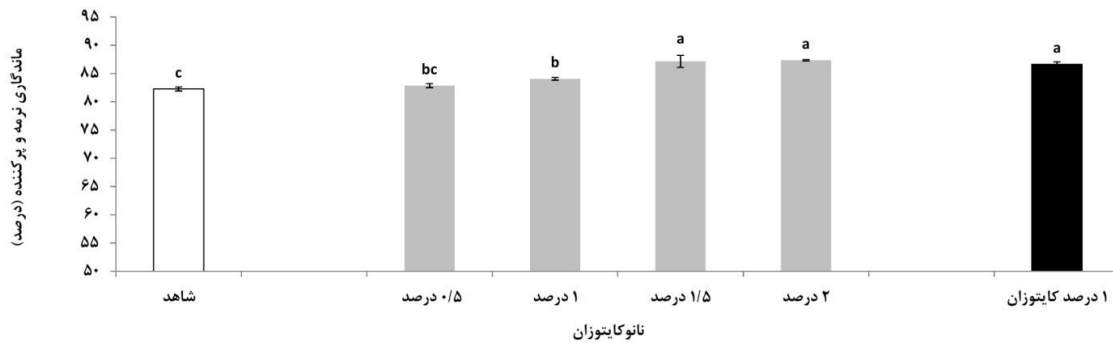
عملکرد بهتری از نانوکایتوزان داشت. همان‌طور که پیشتر بیان شد، احتمال می‌رود کایتوزان قابلیت اتصال به سطح الیاف بیشتری نسبت به نانوکایتوزان (که در فضاهای بین الیاف نفوذ می‌کند) داشته باشد و با ایجاد بار مثبت سطحی در الیاف، سبب جذب نرمه‌ها (که دارای سطح زیاد با بار منفی‌اند) می‌شود.

آبگیری از ورقه الیاف

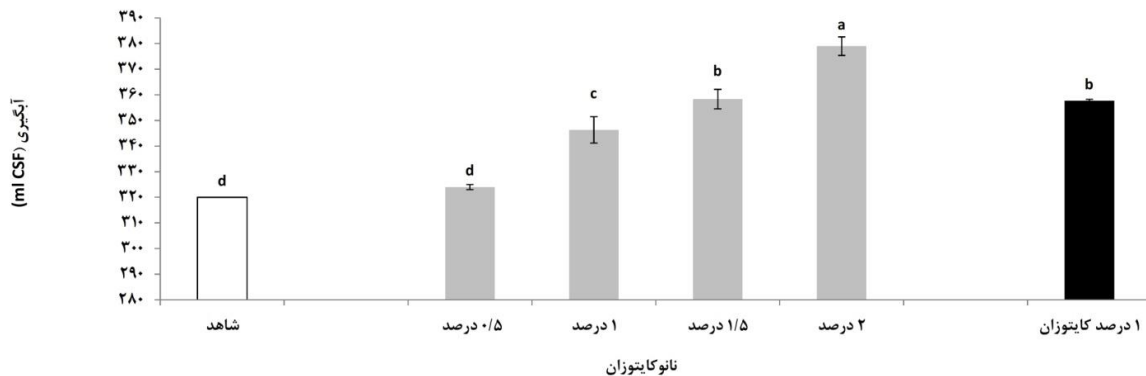
شکل ۸، وضعیت آبگیری از ورقه تر الیاف را در حضور کایتوزان و نانوکایتوزان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود همه تیمارها عملکرد مناسب‌تری نسبت به تیمار شاهد داشتند. از آنجا که افزایش پلیمرهای کاتیونی سبب تشدید تشکیل انواع فلاک در خمیر کاغذ می‌شوند، افزایش آبگیری به علت افزایش تشکیل فلاک منطقی است. همچنین با افزایش مصرف نانوکایتوزان، مقدار آبگیری افزایش نشان داد. افزایش احتمال تشکیل فلاک در درصدهای بیشتر مصرف را می‌توان دلیل دستیابی به این نتیجه دانست. همچنین در مقایسه کایتوزان و نانوکایتوزان در سطح مصرف ۱ درصد (براساس وزن خشک خمیر کاغذ) مشاهده می‌شود که کایتوزان عملکرد مناسب‌تری داشته است.

ماندگاری کل مواد جامد

شکل ۷، وضعیت تأثیر تیمارها بر ماندگاری نرمه و پرکننده در ورقه الیاف را نشان می‌دهد. روند در این ویژگی با وضعیت ویژگی آبگیری از خمیر کاغذ همخوانی دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود همه تیمارهای اعمال شده (به جز ۰/۵ درصد نانوکایتوزان) سبب افزایش ماندگاری نرمه نسبت به تیمار شاهد شدند. همان‌طور که در بخش قبل بیان شد افزودن پلیمرهای کاتیونی به سوسپانسیون خمیر کاغذ سبب ایجاد تشکیل انواع فلاک (به روش‌هایی مانند ختنی‌سازی، وصله‌زنی و پل‌زنی) الیاف با الیاف و الیاف با نرمه‌ها می‌شود و بدین وسیله نرمه‌ها که سطح پیوندی مناسبی دارند نیز از اتصال با هم یا با الیاف برای افزایش ماندگاری در ورقه کاغذ سود می‌برند. همچنین با افزایش مقدار مصرف نانوکایتوزان روند ماندگاری افزایشی بوده است که با توجه به افزایش مقدار عامل پیونددهنده یعنی پلیمر کاتیونی در محیط، پیش‌بینی پذیر است. همچنین با مقایسه کایتوزان و نانوکایتوزان در سطح ۱ درصد مصرف (براساس وزن خشک خمیر کاغذ) مشاهده می‌شود که کایتوزان



شکل ۷. تأثیر افزودن نانوکایتوزان و کایتوزان بر ماندگاری کل مواد جامد (حروف لاتین گروه‌بندی دانکن در سطح ۱ درصد خطا را نشان می‌دهند)



شکل ۸. تأثیر افزودن نانوکایتوزان و کایتوزان بر آبگیری از ورقه الیاف (حروف لاتین گروه‌بندی دانکن در سطح ۱ درصد خطا را نشان می‌دهند)

نتیجه‌گیری

تولید نسبت به پلی‌الکترولیت کایتوزان کاهش می‌یابد. از آنجا که برخلاف کایتوزان می‌توان از سطوح بیش از ۲ درصد نانوکایتوزان بهره برد، در صورت نیاز، می‌توان به مقادیر بسیار بیشتری از ویژگی‌های فرایندی و مقاومتی دست یافت. همچنین کایتوزان و نانوکایتوزان در مقایسه با نشاسته کاتیونی در سطح مصرف یکسان (۱ درصد وزن خشک خمیر کاغذ) ویژگی‌های مقاومتی را بهبود بیشتری بخشیدند.

نتایج بیانگر قابلیت نانوکایتوزان در افزایش ویژگی‌های مقاومتی و ویژگی‌های فرایندی است. به نظر می‌رسد قابلیت نفوذ این نانوذرات در فضاهای بین الیاف و نرمه‌ها که به‌طور معمول دور از دسترس‌اند، تأثیر مهمی در این زمینه دارد. البته این قابلیت نفوذ هرچند امکان دست یافتن به بخش‌های دور از دسترس را افزایش می‌دهد، به‌علت کاهش امکان پل زنی تا حدودی تأثیرش در بهبود ویژگی‌های فرایندی

References

- [1]. Rahmaninia, M., and Khosravani, A. (2015). Improving the paper recycling process of old corrugated container wastes. *Cellulose Chemistry and Technology*, 49(2): 203-208.
- [2]. Hubbe, M.A. (2006). Bonding between cellulosic fibers in the absence and presence of dry-strength agents- A Review. *BioResources*, 1(2): 281-318.
- [3]. Rahmaninia, M., Mirshokraei, S.A., Ebrahimi, Gh., and Mohammad Nazhad, M. (2011). Effect of cationic starch-nanosilica system on retention and drainage of washed OCC pulp. *Journal of Forest and Wood Products, Iranian Journal of Natural Resources*, 64(1): 15-22.
- [4]. 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 Product, Iranian Journal of Natural Resources*, 68(2): 347-357.
- [5]. Rohi, M., Ramezani, O., Rahmaninia, M., Zabihzadeh, S.M., and Hubbe, M.A. (2016). Influence of pulp suspension pH on the performance of chitosan as a strength agent for hardwood CMP paper. *Cellulose Chemistry and Technology*, 50(7-8): 873-878.
- [6]. 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.
- [7]. 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.
- [8]. Hosseinian, K., Rahmaninia, M., and Khosravani, A. (2016). Comparison of chitosan performance in a single or nanoparticle system as a wet end additive in recycled printing and writing papers. *Journal of Forest and Wood Product*, 68(4): 815-827.
- [9]. De Moura, M.R., Aouada, F.A., and Mattoso, L.H.C. (2008). Preparation of chitosan nanoparticles using methacrylic acid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 321(2): 477-483. [10]. Tran, C.D., Duri, S., Delneri, A., and Franko, M. (2013). Chitosan-cellulose composite materials: preparation, Characterization and application for removal of microcystin. *Journal of Hazardous Materials*, 252-253: 355-366.
- [11]. Kermanian, H., Razmpour, Z., Ramezani, O., Mahdavi, S., Rahmaninia, M., and Ashtari, H. (2013). The influence of refining history of waste NSSC paper on its recycability. *bioResources*, 8(4): 5424-5434.