تأثیر سامانه پلی دادمگ و نانوکیتوزان بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی – مکانیکی (CMP)

هاتف حیدری[۱]
رامین ویسی[۲*]
عبدالله حسین زاده[۳]
رضا بخشی[۳]
مجید کیانی[۲]

[۱] دانشجوی دکتری گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

[۲] دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

[۳] استادیار گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

مسئول مکاتبات:
vaysi_r452@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۶

چکیده

این تحقیق با هدف تأثیر افزودن نانوکیتوزان و پلی دادمگ (poly-DADMAC) بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ تهیه شده از روش خمیرسازی شیمیایی – مکانیکی (CMP) انجام شد. به همین منظور، ابتدا مقداری خمیرکاغذ شیمیایی – مکانیکی (CMP) رنگ‌بری شده شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران به عنوان نمونه شاهد انتخاب شد. سپس پلی دادمگ در ۴ سطح ۰، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ درصد استفاده گردید. همچنین نانوکیتوزان در ۳ سطح ۰، ۱ و۲ درصد به سوسپانسیون خمیرکاغذCMP اضافه شد. از خمیرکاغذهای مذکور کاغذهای با وزن پایه gr/m2 ۶۰ تهیه و خواص نوری و مقاومتی آن‌ها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI اندازه-گیری و مقایسه گردید. نتایج نشان داد که با افزودن پلی دادمگ به خمیرکاغذ CMP، درجه روشنی، فاکتور *a، طول پارگی، مقاومت کششی و مقاومت به ترکیدن افزایش و زردی، سبزرنگی و جذب آب کاهش یافت، اما تغییرات معنی‌داری در ماتی، مقاومت به پارگی و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل مشاهده نشده است. با افزودن نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP روشنی، فاکتور *a، ماتی، مقاومت به پارگی، طول پارگی، مقاومت به ترکیدن و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل افزایش یافت، اما جذب آب و سبزرنگی در کاغذ حاصل کاهش‌یافته است، مناسب‌ترین ویژگی‌ها در کاغذ حاصل از افزودن ۱ و۲ درصد کیتوزان به خمیرکاغذ CMP مشاهده شده است. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP روشنی، ماتی، فاکتور *a، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پارگی و مقاومت به عبور هوا افزایش مناسبی را نشان داد، اما زردی، جذب آب و سبزرنگی کاغذ حاصل کاهش‌یافته است. به‌طور کلی افزودن ۲ درصد نانوکیتوزان (جداگانه) و همچنین افزودن هم‌زمان۲درصد کیتوزان و ۰/۵ و ۰/۷درصد پلی دادمگ به خمیرکاغذ CMP باعث بهبود اغلب ویژگی‌ها در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP شده است که می-توان آن‌ها را به عنوان تیمار برتر انتخاب و معرفی کرد.

واژگان کلیدی: پلی دادمگ، نانوکیتوزان، خمیرکاغذ CMP، ویژگی‌های نوری، ویژگی‌های مقاومتی.

مقدمه

با افزایش جمعیت، افزایش تقاضای مصرف کاغذ و مقوا و همچنین محدودیت بیشتر مواد اولیه مصرفی، تولید کاغذ از خمیرکاغذهای پربازده[1] و مکانیکی جایگاه ویژه و خاص خود را پیدا کرده است. این خمیرکاغذها راندمان زیادتر و بیش از ۸۵ درصد دارند و مقدار ماده چوبی حل شده در آن‌ها کمتر از خمیرکاغذهای شیمیایی و نیمه شیمیایی است، اما به دلیل وجود لیگنین، مواد عصاره‌ای و یون‌های فلزی موجود در این خمیرکاغذها، مصرف آن‌ها را به زمان های کوتاه مدت محدود کرده است و در طولانی مدت برگشت درجه روشنی و زردشدگی نوری در آن‌ها رخ می‌دهد. خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP)، معمولاً به وسیله چند نوع تیمار تولید می‌شوند. این خمیرکاغذها راندمان حدود ۹۰-۸۰ درصد دارند. در فرآیند CMP زمان و دمای بیشتری (در مقایسه با روش CTMP) برای پیش‌تیمار نیاز می‌باشد. دراین روش، خرده‌چوب‌ها در یک یا دو مرحله و در دمای کمتر از $^{\bullet C}$ ۱۰۰ پیش تیمار می‌شوند. سپس تیمار با مواد شیمیایی سولفیت سدیم(Na_4So_3) در دمای بیش از $^{\bullet C}$ ۱۰۰ انجام می‌شود. بعد از پخت، از عملیات پالایش در فشار اتمسفر در یک مرحله (برای درجه روانی بیشتر) یا دو مرحله (برای درجه روانی کمتر) استفاده می‌شود. به دلیل استفاده بیشتر مواد شیمیایی، کیفیت خمیرکاغذ حاصل بهتر از خمیرکاغذ CTMP می‌باشد. درجه روانی نهایی خمیرکاغذ CMP حدودCSF ۴۰۰-۳۰۰ می‌باشد. در کشور ایران(ساری)، سالانه حدود۵۲۰۰۰ تن کاغذ روزنامه و۳۸۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر (سفارشی)، در شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران، ازخمیرکاغذ CMP و از ۷۵ درصد ممرز و ۲۵ درصد صنوبر و راش تولید می‌گردید، اما با عنایت به طرح تنفس جنگل در سال‌های اخیر، در حال حاضر، خمیرکاغذ CMP در این شرکت از حدود ۵۰ درصد غان، ۲۰ درصد صنوبر و حدود ۳۰ درصد مخلوط سایر گونه های چوبی تولید می‌شود [۱].

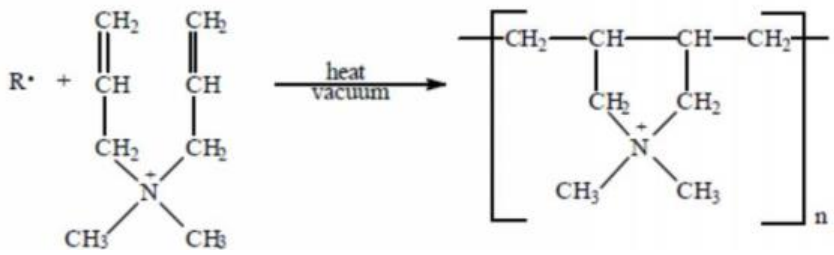
خمیرکاغذهای مکانیکی و شیمیایی -مکانیکی (CMP) در مقایسه با خمیرکاغذهای شیمیایی به دلیل تخریب بیشتر در الیاف، متوسط طول الیاف کمتر، نرمه-های بیشتر و ماندگاری کمتر نرمه‌ها و پرکننده‌ها، لیگنین باقی‌مانده بیشتر و ویژگی‌های مقاومتی کمتر در ساخت کاغذهای باکیفیت و بادوام از مطلوبیت کمتری برخوردار هستند. اما به‌خاطر راندمان بیشتر و خصوصیات چاپ‌پذیری بهتر، از این خمیرکاغذها برای تولید کاغذهای روزنامه، چاپ و تحریر مدارس و مقوا استفاده می‌گردد. برای بهبود ویژگی‌های نوری و چاپ‌پذیری و کاهش قیمت کاغذ نهایی، حدود ۵ تا ۱۵ درصد پرکننده‌های معدنی، در مخزن اختلاط به این خمیرکاغذها افزوده می‌گردد. اغلب این افزودنی‌ها دارای بار الکتریکی منفی (آنیونی) هستند و بر روی الیاف خمیرکاغذ به خوبی تثبیت نمی‌شوند و می‌توانند به راحتی به همراه آب سفید از کاغذ تر در حال شکل‌گیری و از توری ماشین کاغذسازی خارج شوند. همچنین نرمه‌های موجود در استاک (دوغاب) نیز دارای بار الکتریکی منفی هستند. برای تثبیت و نگهداری پرکننده‌های معدنی و نرمه‌ها بر روی الیاف خمیرکاغذ نیاز به افزودنی‌هایی با بار مثبت می‌باشد، تا مانع خروج این نرمه‌ها و پرکننده‌ها از توری ماشین کاغذ به داخل آب سفید گردد. معرفی برخی افزودنی‌های کاتیونی (با بار الکتریکی مثبت) جدید مانند پلی‌دادمگ، نانوکیتوزان، پلی آلومینیم کلراید (PAC) و پلی‌اکریل‌آمید، جهت به‌کارگیری آن‌ها در پایانه تر صنعت کاغذسازی، در کنار آلوم و نشاسته کاتیونی و نقشی که می‌توانند در بهبود ماندگاری و ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP) داشته باشد، باعث گردید تا برخی از این افزودنی‌های کاتیونی در این تحقیق مورد بررسی و توجه ویژه قرار گیرند.

دراین‌ارتباط، پلی دادمگ[2] یا پلی دی آلیل دی متیل آمونیوم کلرید، یک ترکیب شیمیایی با فرمول (C8H16NCL)n ، که جرم مولی آن متغیر می‌باشد(شکل۱)، در تصفیه فاضلاب به عنوان یک ماده منعقدکننده آلی اولیه و خنثی‌کننده مواد کلوئیدی دارای بار الکتریکی منفی استفاده می‌شود و در مقایسه با منعقدکننده‌های معدنی حجم لجن را بیشتر کاهش می‌دهد. پلی دادمگ از واکنش پلیمریزاسیون رادیکالی دی آلیل دی متیل آمونیم کلراید در حضور یک شروع

[1] High- yield pulps

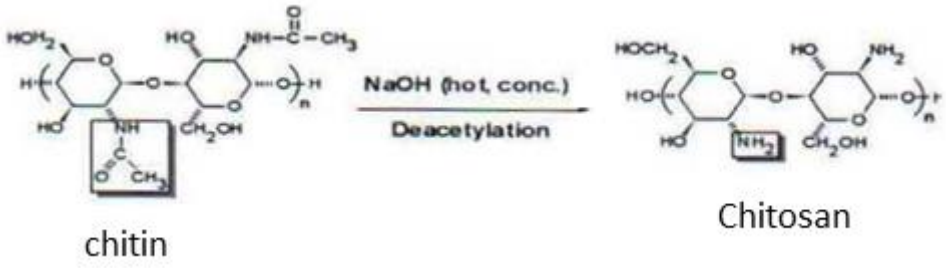
[2] Poly-DADMAC

کننده سنتز می‌شود(شکل۱). دراین‌ارتباط، عملکرد منعقد کننده‌ها از طریق فشردگی لایه مضاعف الکتریکی در اطراف ذره کلوئیدی انجام می‌شود. در حالی که پلی دادمگ با پتانسیل بار مثبت می‌تواند با ایجاد پل‌های اتصالی ذره- پلیمر-ذره، عملیات تجمع سازی را از طریق جذب در سطح ذره کلوئیدی را انجام دهد. این سازوکار موجب افزایش سرعت ناپایدارسازی ذره‌ای و در نتیجه رشد سریع‌تر دلمه شدن و کلوخه شدن ذرات و نهایتاً بهبود ماندگاری نرمه‌ها و پرکننده های معدنی در کاغذ گردد [۲].



شکل ۱- ساختار پلی دادمک [۲].

ازطرف دیگر کتین، دومین بیوپلیمر فراوان طبیعی بعد از سلولز است و از نظر ساختاری شبیه سلولز بوده، با این تفاوت که کتین دارای گروه‌های استات آمید (-NHCOCH3) در موقعیت کربن C2 است. مشتق استیل‌زدایی شده کتین ماده‌ای به نام کیتوزان است. کیتوزان یک زیست‌تخریب‌پذیر، زیست‌سازگار، ضدباکتری و ضدقارچ است و از منابع تجدیدشونده‌ای نظیر سخت‌پوستان دریایی تهیه می‌شود. شباهت کیتوزان به سلولز سبب شده است تا سازگاری خوبی با سلولز الیاف خمیرکاغذ داشته باشد. چرا که تفاوت بین این دوزیست پلیمر، در جایگزینی گروه عاملی NH۲ بجای گروه هیدروکسیل کربن شماره ۲ کیتوزان است که به واکنش‌پذیر بیشتر آن به الیاف سلولزی نیز کمک می‌کند (شکل ۲) [۳، ۴]. از تحقیقات قبلی گزارش شده که آمینو پلی‌ساکارید کیتوزان پیونددهنده بسیار خوبی برای ساختارهای الیاف سلولزی بوده و می‌تواند تا بیش از ۴۰ درصد کارآمدتر از نشاسته عمل نماید. کیتوزان به دلیل دارابودن بارهای مثبت و بارهای مخالف (منفی) مواد سلولزی موجب تشکیل پیوندهای قوی‌تر و تولید کاغذ مقاوم‌تر می‌شود [۵، ۶].



شکل۲- نحوه تشکیل کیتوزان از کتین [۳].

دراین‌ارتباط Ramaninia و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر pH بر عملکرد افزودنی های مقاومت خشک کیتوزان - نانوبنتونیت در خمیر شیمیایی - مکانیکی پهن برگان گزارش دادند که تیمار ۱/۲۵ درصد کیتوزان در سطح ثابت ۰/۳ درصد نانوبنتونیت در pH قلیایی بهترین مقاومت ها را از خود نشان داده است [۳]. Mohseni Tavakkoli و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی لایه‌های خود سامان کایتوزان - نانوسلیکا بر روی الیاف پنبه و خواص کاغذ تهیه شده گزارش دادند که شاخص مقاومت به کشش با لایه نشانی سه لایه نسبت به خمیر عمل آوری

نشده تقریبا ۱۶ درصد افزایش و ضریب شکل‌گیری کاغذ به آرامی کاهش‌یافته است [۷]. Ahmadi Lajimi و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی تأثیر ماده تثبیت کننده کاتیونی بر پایه پلی دادمک بر ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ OCC گزارش دادند که این پلیمر کاتیونی با تأثیر بر شکل‌گیری، پیوند یابی بین الیاف، خنثی سازی، تثبیت و دلمه کردن نرمه‌ها، باعث بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز شده است، این افزایش در مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به فشار لهیدگی لبه در حالت حلقه، مقاومت به فشار لبه میانی و مقاومت به پاره شدن محسوس می‌باشد [۸]. Pourkarimi Dodangeh و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی عملکرد سامانه زیست پلیمر نانوسلولز و کیتوزان بر ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ بازیافتی گزارش دادند که کیتوزان نه تنها باعث افزایش مقاومت‌ها نشده، بلکه باعث کاهش مقاومت‌ها شده، ولی عملکرد آن مناسب تر از نانوسلولز بوده است [۹]. Rasulpur و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که کیتوزان در حالت بدون تیمار با پروکسید نیز می‌تواند به عنوان یک ماده بهبود دهنده مقاومت خشک کاغذ عمل کند، که این نتیجه می‌تواند ناشی از توانایی کیتوزان در ایجاد سه نوع پیوند هیدروژنی، یونی و کووالانسی باشد. از طرفی اصلاح سطح الیاف توسط پروکسید هیدروژن، الیاف با بار منفی را افزایش می‌دهد و به همراه کیتوزان با بار مثبت یک سیستم دوتایی موفق تشکیل می‌دهد [۱۰]. Rezazadeh و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی تأثیر افزودن پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیر شیمیایی - مکانیکی (CMP) گزارش داد که با افزودن ۱ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC)، ۲ درصد کیتوزان (جداگانه) و همچنین افزودن همزمان۲ درصد کیتوزان و۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) به خمیرکاغذ CMP باعث بهبود اکثر ویژگی‌ها درکاغذ حاصل شده است [۱۱].

در این تحقیق از نانوکیتوزان و پلی دادمگ به‌صورت مجزا و همزمان برای تیمار و بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ شیمیایی -مکانیکی (CMP) استفاده شد، تا مکانیسم رفتار هم زمان پلی دادمگ و نانو کیتوزان در بهبود خواص خمیرکاغذ و به ویژه کاغذ حاصل از خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP) مورد بررسی و مناسب‌ترین نتایج بررسی و گزارش گردد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمونی

در این تحقیق ابتدا از واحد ماشین کاغذ (واحد ۶۰۰) شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران، خمیرکاغذ شیمیایی -مکانیکی (CMP) که با پروکسید هیدروژن رنگ‌بری و پالایش شده، با درجه روانی حدود CSF ۳۰۰ (میلی لیتر) تهیه و مقداری از خمیرکاغذ اولیه به عنوان نمونه شاهد انتخاب شد. لازم به ذکر است که در حال حاضر خمیرکاغذ CMP در شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران از حدود ۵۰ درصد غان، ۲۰ درصد صنوبر و حدود ۳۰ درصد مخلوط سایر گونه های چوبی تولید می‌شود.[۱].

پلی دادمک

پلیمر کاتیونی با نام تجاری GL ساخت شرکت FINE CHEMICALCOMPANY چین می‌باشد. پلی دادمک محلولی بی‌رنگ، متمایل به زرد کم‌رنگ است که دارای گرانروی ۲۰۰ الی ۱۰۰۰ سانتی‌پوآز و pH ۴ تا ۷ است. پلی‌دی آلیل دی متیل آمونیوم کلراید(poly-DADMAC) از شرکت سیگما آلدریچ به‌صورت محلول آبی با غلظت ۶۰ درصد و وزن مولکولی ۴۰۰۰۰۰ -۶۰۰۰۰۰ گرم بر مول تهیه گردید. سپس پلی دادمگ در ۴ سطح ۰، ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷ درصد استفاده و به دوغاب (استاک) خمیرکاغذ شیمیایی -مکانیکی (CMP) افزوده شد[۸].

آماده‌سازی نانوکیتوزان

کیتوزان نیز که به‌صورت پودری کرم رنگ و شفاف می‌باشد که از شرکت Seafresh کشور تایلند با وزن مولکولی ۲۷۰ کیلودالتون و درجه استیلاسیون ۹۳ درصد تهیه شد. به‌منظور آماده‌سازی، برای تزریق محلول نانوکیتوزان به دوغاب خمیرکاغذ، مقدار مورد نیاز نانوکیتوزان در محیط اسید استیک ۱ درصد و به مدت ۲ ساعت در دمای اتاق توسط همزن حل شد. به هنگام ساخت کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی، ابتدا نانوکیتوزان به خمیرکاغذ در حال تلاطم با شدت دورانی ۵۰۰-۳۰۰ دور

در دقیقه در ۳ سطح ۰، ۱ و۲درصد به سوسپانسیون خمیر اضافه گردید [۱۲، ۱۳].

اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز

برای اندازه‌گیری خواص نوری و مقاومتی کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ مذکور و همچنین خمیرکاغذ CMP رنگ‌بری شده کارخانه چوب و کاغذ مازندران (شاهد)، ابتدا طبق آزمون شماره ۸۸- T ۲۰۵ om استاندارد TAPPI، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه ۶۰ gr/m2 تهیه شد. برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای تهیه شده از دستگاه طیف‌سنجی استفاده شد. این دستگاه در سیستم CIElab قادر به تشخیص رنگ فرآورده‌های کاغذی می‌باشد. عملکرد این سیستم بر اساس خاصیت انعکاس نور از سطح موردمطالعه استوار است. به‌طوری‌که براین‌اساس درجه روشنی و ماتی کاغذها با استفاده از آزمون استاندارد T۴۵۲ om -۰۲ و T۴۲۵ om -۰۱ تعیین شد. سپس ویژگی‌های مقاومتی به ویژه مقاومت‌های به پارگی، ترکیدن، کششی و مقاومت به عبور هوا کاغذهای حاصل به ترتیب با استفاده از آزمون‌های ۹۸- T ۴۱۴ om ، ۰۲- T ۴۰۳ om ، ۹۶- T ۴۹۴ om و۰۲- T۴۶۰ om استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه گردید، در نهایت جذب آب (Cobb 60) کاغذهای دست‌ساز نیز با استفاده از آزمون شماره ۰۴- T ۴۴۱ om اندازه‌گیری شد [۱۴].

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت. برای بررسی اثرات مستقل و متقابل متغیرها و گروه‌بندی میانگین‌ها از طرح فاکتوریل و آزمون تجزیه واریانس چندطرفه و همچنین برای گروه‌بندی میانگین‌ها نیز از روش دانکن استفاده شد.

نتایج

مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی در سطح متغیرها

تجزیه واریانس چندطرفه عوامل مستقل و متقابل بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل خمیرکاغذ CMP طی استفاده از پلی دادمگ و نانوکیتوزان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نانو کیتوزان بر روی تمامی مشخصات کاغذ حاصل به‌استثنای روشنی، زردی، جذب آب و فاکتورهای رنگی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین نتایج نشان داد که اثرات مستقل پلی دادمگ بر تمامی ویژگی‌های به‌استثنای ماتی، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به عبور هوا، مقاومت به پارگی، جذب آب و فاکتور a*اختلاف معنی‌داری وجود دارد. اثرات متقابل نانوکیتوزان و پلی دادمگ نیز بر روی تمامی ویژگی‌ها به‌جز روشنی، زردی و فاکتورهای a* و b* سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۱).

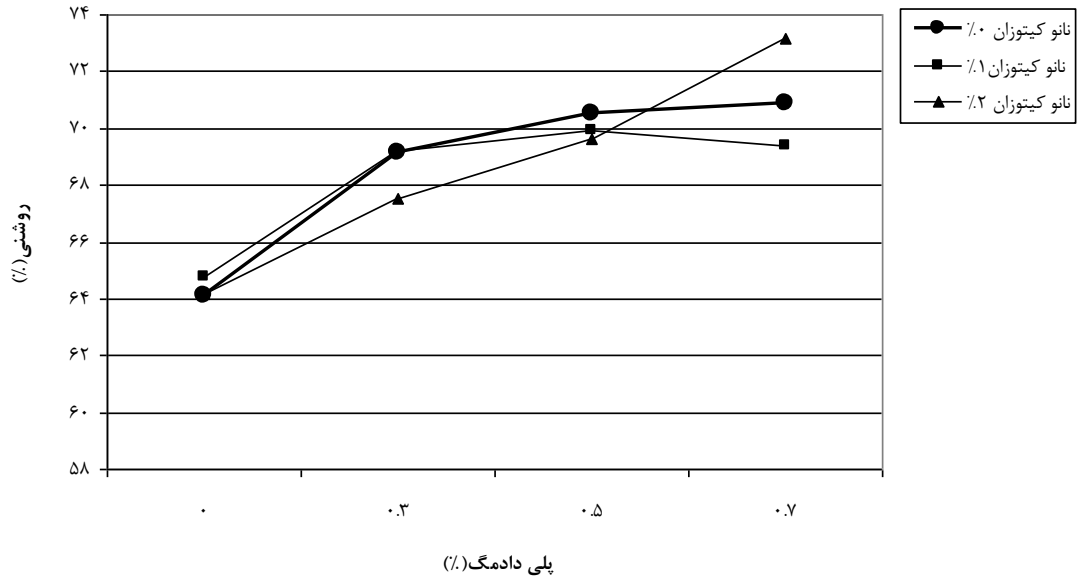
جدول ۱- آزمون تجزیه واریانس چند طرفه بین ویژگی‌های خمیرکاغذ CMP طی استفاده از پلی دادمگ و نانوکیتوزان

ویژگی‌ها	روشنی		فاکتور a*		مقاومت به پارگی		طول پارگی		مقاومت کششی	
متغیر	آمارهF	معنی‌داری	آمارهF	معنی‌داری	آمارهF	معنی‌داری	آمارهF	معنی‌داری	آمارهF	معنی‌داری
نانوکیتوزان (A)	۰/۳۳۸	۰/۷۱۴	۰/۵۹۱	۰/۵۵۵	۳/۵۲۹	۰/۰۳۲	۱۳/۲۱۸	۰/۰۰۰۱	۴/۳۶۸	۰/۰۱۵
پلی دادمگ (B)	۶۵/۴۸	۰/۰۰۰۱	۴۰/۷۷	۰/۰۰۰۱	۱/۱۵۲	۰/۳۳۱	۱۸/۸۹۸	۰/۰۰۰۱	۵/۱۸۲	۰/۰۰۲
A* B	۳/۸۲۵	۰/۰۰۲	۳/۳۶۹	۰/۰۰۴	۰/۵۳۰	۰/۷۸۹	۰/۰۹۴	۰/۰۰۰	۰/۹۴۸	۰/۴۶۳

مقایسه درجه روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهایCMP

نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد. با افزودن نانوکیتوزان روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش یافت. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و نانوکیتوزان روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد افزایش را نشان می‌دهد. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین روشنی در کاغذ حاصل از افزودن ۲ درصد نانوکیتوزان به نمونه شاهد

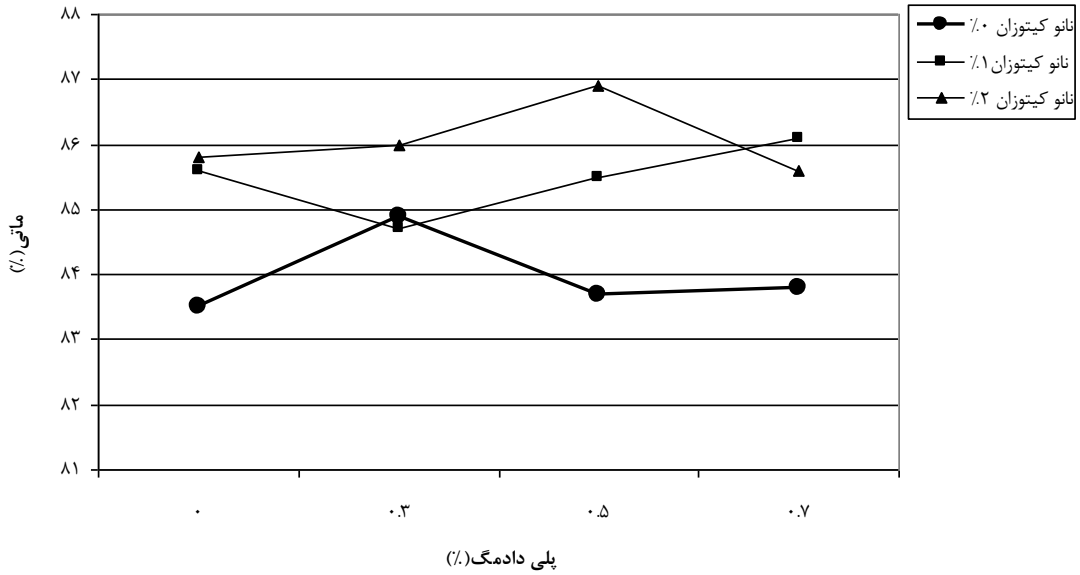
مشاهده شد. دراین‌ارتباط، کیتوزان علاوه بر عملکردش به عنوان یک ماده افزایش‌دهنده مقاومت خشک، با کمک بارهای کاتیونی خود، باعث افزایش کلوخه سازی در سوسپانسیون استاک شده و با افزایش ماندگاری نرمه‌ها می‌تواند باعث افزایش دانسیته، کاهش خلل و فرج، افزایش توان انعکاس نور در کاغذ و در نتیجه افزایش روشنی آن گردد[۱۱، ۱۵]همچنین بهبود عملکرد سیستم کیتوزان منجر به تشکیل کلوخه‌های متراکم‌تر، شکل‌گیری بهتر ورقه، ماندگاری بهتر نرمه‌ها، دانسیته ظاهری بهتر شده و در نتیجه افزایش روشنی در کاغذ می‌گردد[۳، ۱۲]. دراین‌ارتباط، کاغذ حاصل از تمامی تیمارها دارای روشنی مناسبی در مقایسه با نمونه شاهد می‌باشد. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نیز نشان داد که در اثرات مستقل پلی دادمگ بر روشنی، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین اثرات متقابل نانوکیتوزان و پلی دادمگ بر روی روشنی در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه درجه روشنی کاغذ حاصل از افزودن پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه ماتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

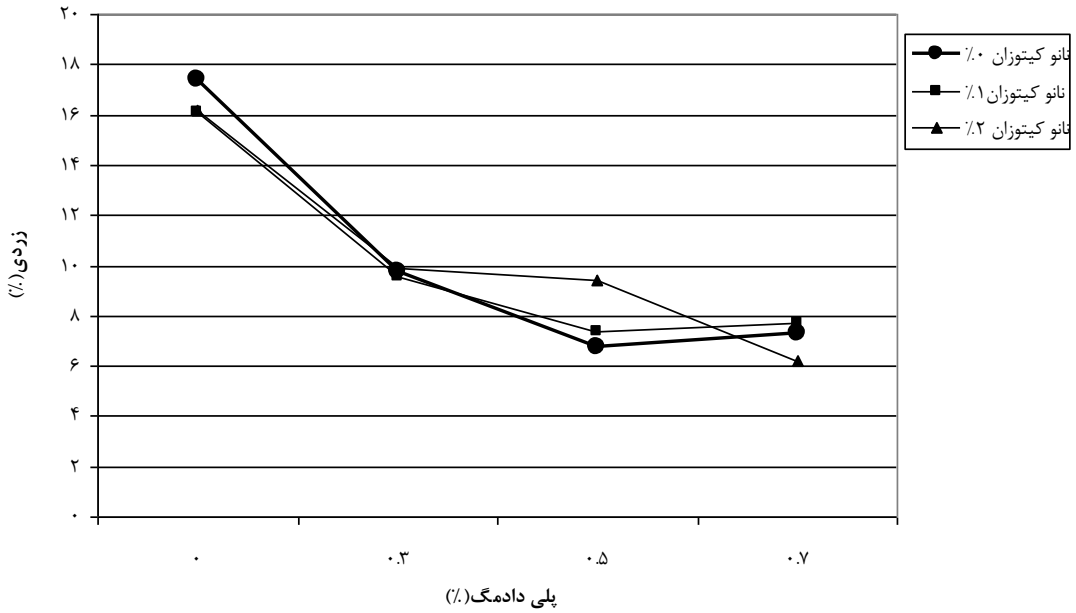
نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ ماتی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش بسیار جزئی داشته است. با افزودن ۱ و ۲ درصد نانوکیتوزان ماتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش مناسب را نشان می‌دهد. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و نانوکیتوزان ماتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین ماتی در کاغذ حاصل از افزودن هم زمان ۰/۵ درصد پلی دادمگ و ۲ درصد نانوکیتوزان نسبت به نمونه شاهد مشاهده شد. دراین‌ارتباط، کاغذ حاصل از افزودن هم زمان ۱ و ۲ درصد نانو کیتوزان و پلی دادمگ به خمیرکاغذ CMP کارخانه نیز دارای ماتی مناسبی در مقایسه با نمونه شاهد می‌باشد. دراین‌ارتباط، کیتوزان علاوه بر عملکردش، با توان بار مثبت خود، با کمک به افزایش ماندگاری نرمه‌ها و افزایش دانسیته کاغذ می‌تواند باعث کاهش عبور نور در کاغذ و افزایش ماتی آن گردد[۱۱، ۱۵]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل و متقابل نانوکیتوزان و پلی دادمگ بر ماتی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه ماتی کاغذ حاصل از افزودن پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه زردی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

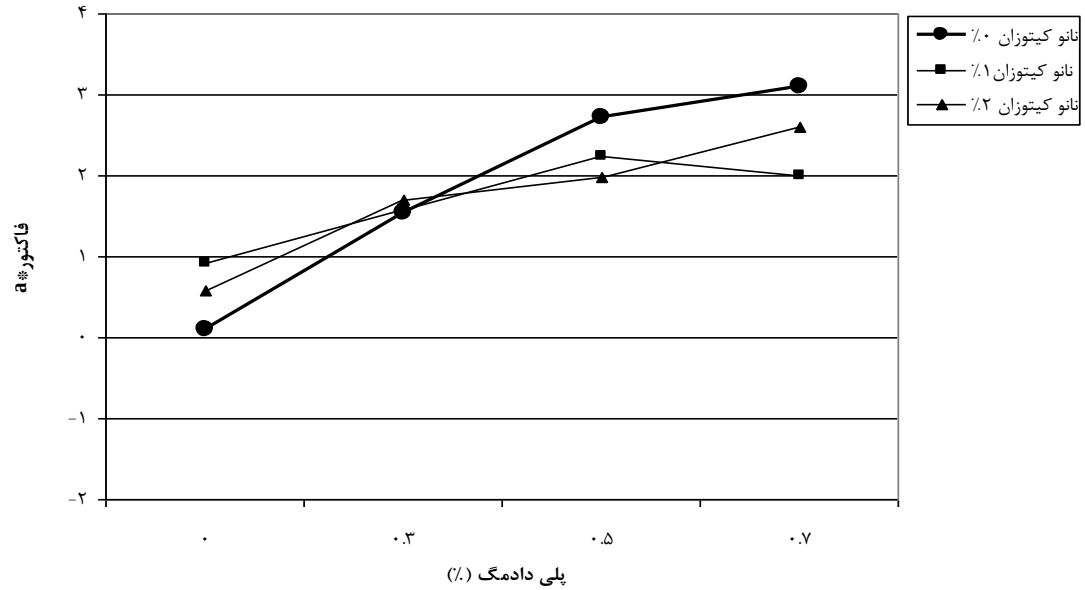
نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ زردی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP کاهش‌یافته است. با افزودن ۱ و ۲ درصد نانوکیتوزان زردی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP کاهش جزئی را نشان می‌دهد. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و نانوکیتوزان زردی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد کاهش معنی-داری را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، کمترین زردی در کاغذ حاصل از افزودن هم زمان ۰/۷ درصد پلی داد و ۲ درصد نانوکیتوزان نسبت به نمونه شاهد مشاهده شد. با عنایت به وجود کروموفورهای لیگنین، مواد عصاره‌ای و یون‌های فلزی موجود در این خمیرکاغذها و امکان تشکیل کمپلکس و کلوخه‌شدن برخی از این گروه‌های دارای بار منفی در اثر حضور و عملکرد بارهای مثبت نانوکیتوزان و پلی دادمک و در نتیجه رسوب آنها، زردی می‌تواند کاهش یابد[۱۱، ۱۵]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل پلی دادمگ بر روی زردی در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین اثرات متقابل نانوکیتوزان و پلی دادمگ نیز بر روی روشنی در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه زردی کاغذ حاصل از افزودن پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه فاکتور*a کاغذ حاصل از خمیرکاغذهایCMP

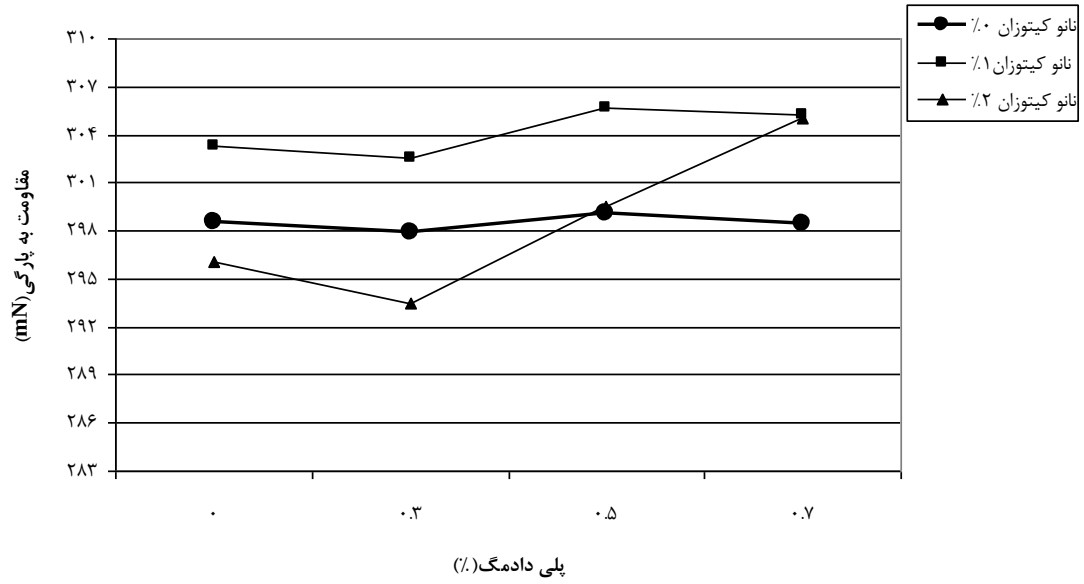
در سیستم جهانی رنگ (CIE l*a*b*)، فاکتور *aنشان‌دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز در کاغذ می‌باشد، در کاغذ روزنامه و چاپ و تحریر، سبزرنگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ فاکتور*a افزایش و سبزرنگی کاغذ کاهش را نشان می‌دهد، با افزودن ۱ و ۲ درصد نانوکیتوزان فاکتور *aافزایش و سبزرنگی کاغذ کاهش را نشان می‌دهد. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و نانوکیتوزان فاکتور*a کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد افزایش و سبزرنگی کاهش را نشان داده است. به‌عبارت‌دیگر در حضور کیتوزان، کاغذ کمی به سمت طیف قرمزتر رنگ از خود تمایل نشان داشته است. دراین‌ارتباط، نتایج سایر تحقیقات نشان داد که بیشترین سبزرنگی و کمترین فاکتور*a (۰/۷-) در کاغذ حاصل از افزودن هم‌زمان ۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و ۱ و ۲درصد نانوکیتوزان به نمونه شاهد مشاهده گردید[۱۱، ۱۵]. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین سبزرنگی و کمترین فاکتور*a در کاغذ حاصل از نمونه شاهد مشاهده گردید. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل پلی دادمگ بر روی فاکتور *a در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین اثرات متقابل نانوکیتوزان و پلی دادمگ نیز بر روی فاکتور *a در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه فاکتور*a کاغذ حاصل از افزودن پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

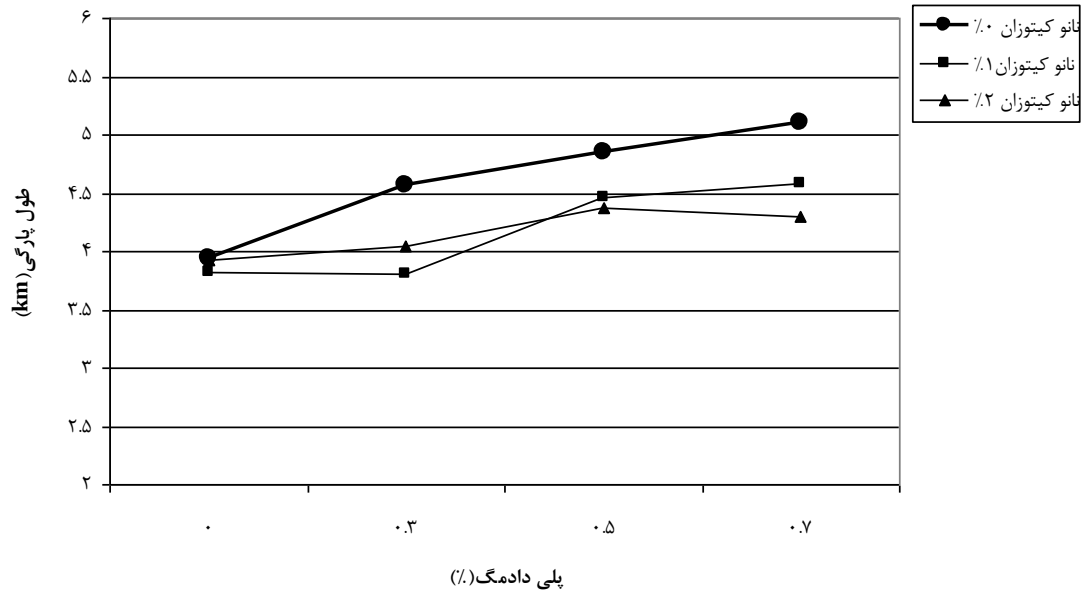
نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP تغییرات بسیار کمی داشته است. با افزودن ۱درصد نانوکیتوزان مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و۱ درصد نانوکیتوزان نیز مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد افزایش معنی-داری را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از افزودن هم-زمان ۰/۷ درصد پلی دادمگ و ۱ و۲ درصد نانو کیتوزان مشاهده شد. دراین‌ارتباط، در مقایسه با نمونه شاهد، کاغذ حاصل از افزودن هم زمان ۰/۷ درصد پلی دادمگ و ۲ درصد نانو کیتوزان نیز مقاومت به پارگی مناسبی را از خود نشان داده است. کیتوزان به دلیل دارا بودن بارهای مثبت و بارهای مخالف (منفی) مواد سلولزی، موجب تشکیل پیوندهای قوی‌تر و تولید کاغذ مقاوم‌تر می‌شود[۵،۶] . دراین‌ارتباط، پلیمرهای کاتیونی مانند کیتوزان به سبب چگالی بار مثبت بالا و اتصال با الیاف سلولزی، سبب افزایش ماندگاری نرمه‌ها و بهبود ویژگی-های مقاومتی می شوند، به‌عبارت‌دیگر، افزودن پلیمرهای کاتیونی مقاومت به پارگی را افزایش می‌دهد و دلیل مهم آن در افزایش توان اتصال بین الیاف از طریق پل‌زنی و شبکه‌سازی به ویژه بین نرمه‌ها و الیاف است که خود موجب افزایش انعطاف‌پذیری و فعال‌شدن سطوح الیاف و افزایش سطح پیوندی آنها می‌شود. [۸، ۱۶،۱۲] . تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل نانوکیتوزان بر روی مقاومت به پارگی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه طول پارگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

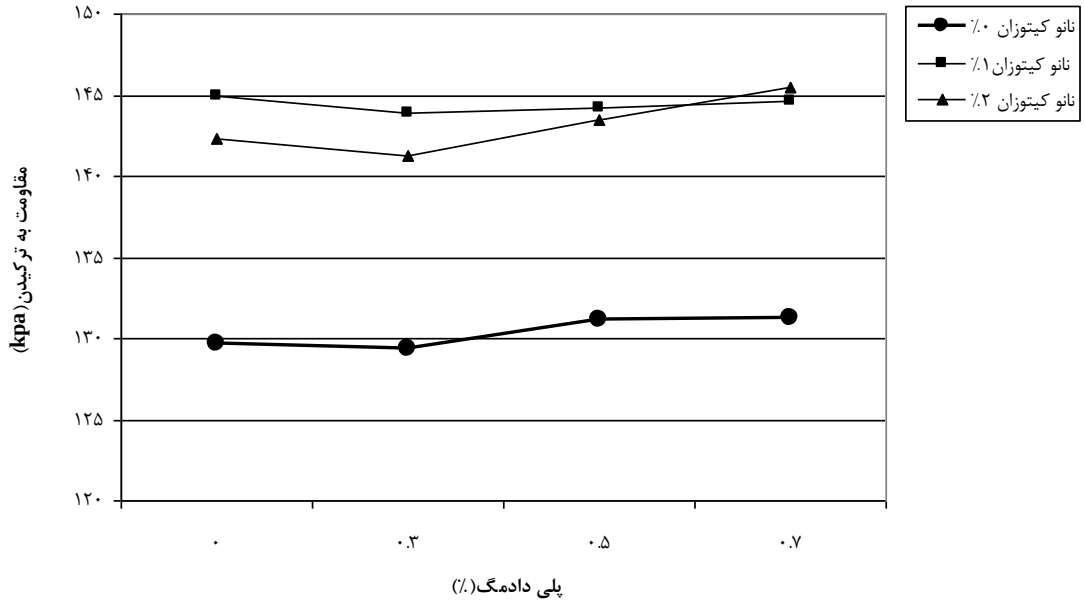
نتایج نشان داد که با افزودن پلی دادمگ طول پارگی افزایش معنی‌داری از خود نشان داده است. با افزودن نانوکیتوزان طول پارگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP کاهش جزئی داشته است. با افزودن هم زمان پلی دادمگ و نانو کیتوزان افزایش مناسبی در طول پارگی کاغذهای حاصل مشاهده شد. از آنجا که طول پارگی از ویژگی‌هایی است که به اتصالات الیاف سلولزی بستگی دارد، نانوکیتوزان نیز به عنوان یک ماده افزودنی مقاومت خشک ساختاری شبیه به رشته‌های سلولزی دارد و در نتیجه برهم‌کنش‌های داخلی و با استفاده از پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی سبب بهبود اتصالات بین الیاف و به دنبال آن سبب بهبود طول پارگی می‌شود [۱۷]. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین طول پارگی در کاغذ حاصل از ۰/۷ درصد پلی دادمگ به خمیرکاغذ CMP مشاهده شد. همچنین افزودن هم زمان ۰/۵ و ۰/۷ درصد پلی دادمگ به همراه ۱ و ۲ درصد نانوکیتوزان نیز طول پارگی مناسبی در مقایسه به نمونه شاهد به کاغذهای حاصل داده است؛ بنابراین، افزودن پلی دادمگ با پتانسیل بار مثبت، باعث باردارشدن سطح الیاف (بار کاتیونی) خواهد شد، سپس در مرحله بعد با افزودن نانو کیتوزان و با پتانسیل ۳ بار مثبت (بار کاتیونی) نرمه‌ها و پرکننده‌ها را در کنار الیاف جذب خواهد کرد. در واقع، استفاده متوالی از پلی الکترولیت‌های مثبت و دوتایی مقدار بیشتری از اجزای کلوئیدی و ذرات ریز را بر الیاف ماندگار می‌کند و مقاومت خشک بیشتری حاصل می‌شود[۹،۱۵].با عنایت به اینکه گروه‌های آمینی کیتوزان توانایی ایجاد اتصال یونی و کووالانسی با سطح الیاف سلولزی به‌خصوص الیاف اصلاح سطح شده را دارند. ازآنجائی‌که کیتوزان ساختار شبیه سلولز را دارد، می‌تواند سازش‌پذیری خوبی با سطح الیاف سلولزی داشته باشد و طیف وسیعی از پیوندهای متفاوت را با آن ایجاد کند و طول پارگی نیز افزایش یابد [۱۶]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که در اثرات مستقل نانوکیتوزان و پلی دادمگ بر روی طول پارگی و در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۸) .



شکل ۸- مقایسه طول پارگی در کاغذ حاصل از پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

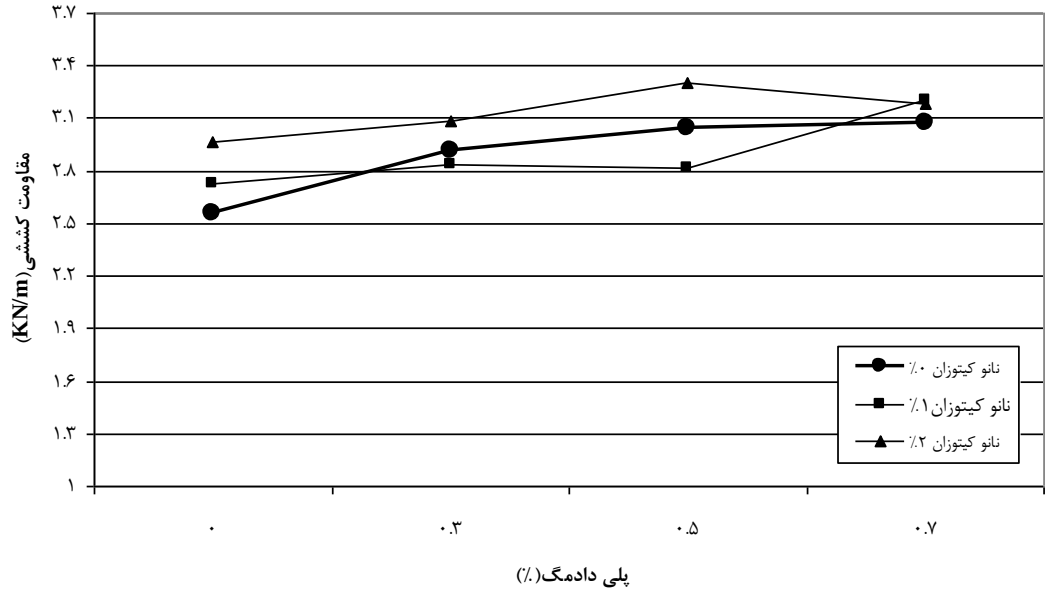
نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ مقاومت به ترکیدن در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش یافته است. با افزودن نانوکیتوزان نیز مقاومت به ترکیدن در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و نانوکیتوزان مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد افزایش را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به ترکیدن در کاغذ حاصل از افزودن هم‌زمان ۰/۷ درصد پلی دادمگ و ۲ درصد نانوکیتوزان در مقایسه با در نمونه شاهد مشاهده شد. نتایج نشان داد که در تمامی تیمارها به جز در کاغذ حاصل از افزودن ۰/۳ پلی دادمگ مقاومت به ترکیدن نسبت به نمونه شاهد مشاهده گردید. دراین‌ارتباط پلیمرهای کاتیونی مانند کیتوزان به سبب چگالی بار مثبت زیاد، به راحتی می‌توانند با الیاف سلولزی اتصال ایجاد کنند. این ویژگی سبب افزایش ماندگاری نرمه‌ها می‌شود. از این رو، می‌توان گفت که کیتوزان علاوه بر عملکردش به عنوان یک ماده افزایش‌دهنده مقاومت خشک، با کمک در افزایش ماندگاری نرمه‌ها نیز می‌تواند به بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ منجر شود [۱۳]. هر چه سطح ویژه در الیاف بیشتر، الیاف نازک‌تر و انعطاف‌پذیرتر باشد، به دلیل ایجاد اتصال هیدروژنی بیشتر، پیوندهای بین الیاف افزایش یافته و در نتیجه مقاومت کاغذ به ترکیدن افزایش می‌یابد [۱۷]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل نانوکیتوزان بر روی مقاومت به ترکیدن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۹).



شکل ۹- مقایسه مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از افزودن پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

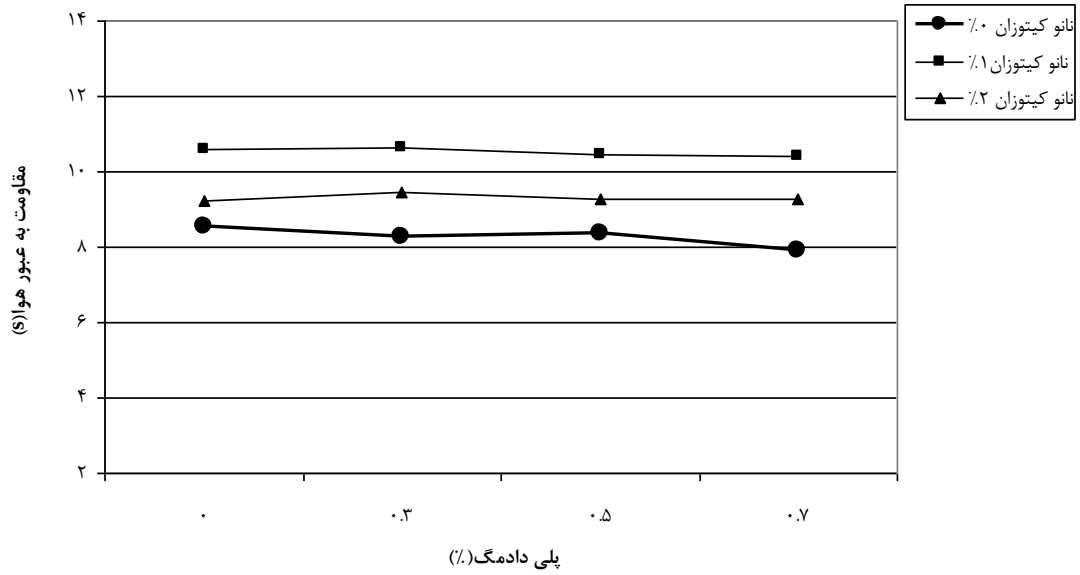
نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ مقاومت کششی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش یافته است. با افزودن نانوکیتوزان نیزمقاومت کششی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و نانوکیتوزان مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد افزایش را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت کششی در کاغذ حاصل از افزودن هم‌زمان ۰/۵درصد پلی دادمگ و۲ درصد نانو کیتوزان و کمترین آن در نمونه شاهد مشاهده شد. دراین‌ارتباط، درتمامی تیمار ها بخصوص در کاغذ حاصل از افزودن هم‌زمان ۰/۷ درصد پلی دادمگ و ۱ و ۲ درصد نانو کیتوزان در مقایسه با نمونه شاهد مقاومت کششی مناسبی مشاهده گردید. از آنجا که مقاومت در برابر کشش از ویژگی‌هایی است که به اتصالات الیاف سلولزی بستگی دارد، کیتوزان نیز به عنوان یک ماده افزودنی مقاومت خشک ساختاری شبیه به رشته های سلولزی دارد و در نتیجه با استفاده از پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی سبب بهبود اتصالات بین الیاف و به دنبال آن سبب بهبود مقاومت در برابر کشش می‌شود [۱۸]. کیتوزان دارای گروه‌های آمینی روی منومرهای خود است که با ایجاد پیوندهای احتمالی یونی، هیدروژنی و کووالانسی آمیدی باعث توسعه هر چه بیشتر پیوند بین الیاف می‌شود [۵]. بنابراین، افزودن پلی دادمگ با پتانسیل بار مثبت، به عنوان یک ماده منعقدکننده آلی اولیه و خنثی‌کننده مواد کلوئیدی دارای بار الکتریکی منفی استفاده می‌شود، سپس در مرحله بعد با افزودن نانو کیتوزان و با پتانسیل ۳ بار مثبت(بارکاتیونی) نرمه‌ها و پرکننده‌ها را در کنار الیاف جذب خواهد کرد. در واقع، استفاده متوالی از پلی الکترولیت های مثبت و دوتایی مقدار بیشتری از اجزای کلوییدی و ذرات ریز را بر الیاف ماندگار می کند و مقاومت خشک بیشتری حاصل می‌شود [۱۹، ۲۰]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل نانوکیتوزان و پلی دادمگ بر روی مقاومت کششی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد(شکل ۱۰) .



شکل ۱۰- مقایسه مقاومت کششی کاغذ حاصل از افزودن پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه مقاومت به عبور هوا کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

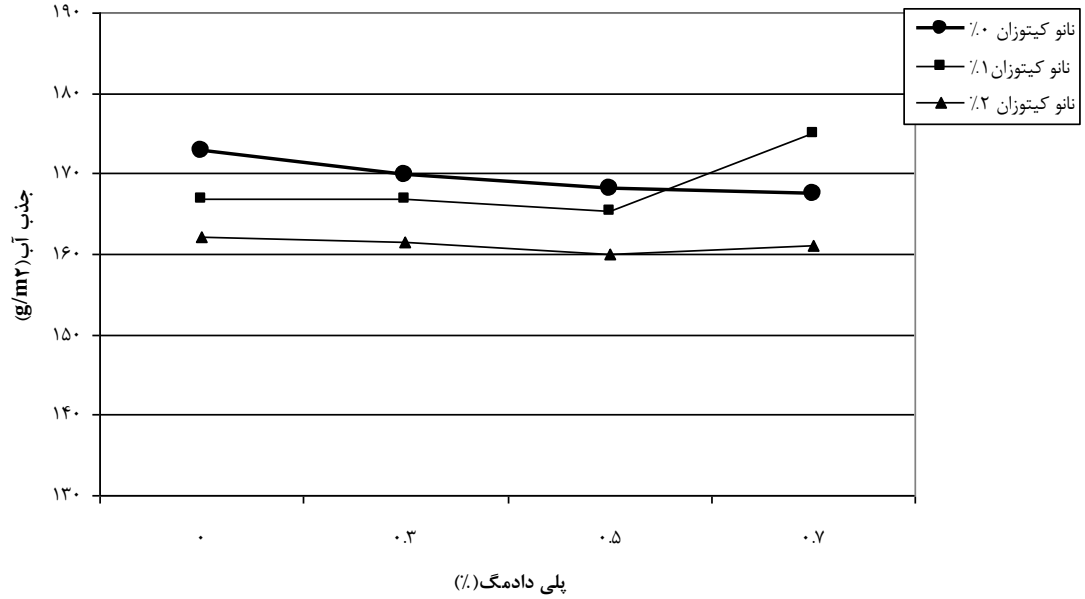
نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP کاهش را نشان داده است. با افزودن نانوکیتوزان نیز مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و نانوکیتوزان مقاومت به عبور هوا کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد افزایش را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و ۱ درصد نانوکیتوزان و کمترین آن در کاغذ حاصل از کارخانه چوب و کاغذ مازندران (نمونه شاهد) مشاهده شد. دراین‌ارتباط، در اثر پراکنش یکنواخت‌تر نانوفیبرهای سلولزی و در نتیجه افزایش شبکه و سطح پیوند بین لیفی باعث کاهش خلل و فرج و روزنه‌ها موجود در ساختار کاغذ شد، لذا حجم مشخصی از هوا برای عبور از کاغذ به زمان بیشتری نیاز دارد، نفوذپذیری در کاغذ کاهش و مقاومت به عبور هوا افزایش می‌یابد [۲۱].تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل نانوکیتوزان بر روی مقاومت به عبور هوا در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- مقایسه مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از افزودن پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه جذب آب کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش پلی دادمگ جذب آب در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP کاهش‌یافته است. با افزودن نانوکیتوزان جذب آب در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد کاهش را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف بیشترین جذب آب در کاغذ حاصل از افزودن هم زمان ۰/۷ پلی دادمگ و ۱ درصد نانوکیتوان به خمیرکاغذ CMP و کمترین آن در کاغذ با افزودن هم زمان ۰/۵ درصد پلی دادمگ و ۲ درصد نانو کیتوزان به خمیرکاغذ CMP مشاهده شد. این کاهش جذب آب در کاغذ بیشتر می‌تواند تحت‌تأثیر کیتوزان باشد. توانایی برقراری پیوند هیدروژنی بین گروه‌های آمینی کیتوزان و گروه‌های هیدروکسیلی الیاف امکان تشکیل پیوندهای الکترواستاتیکی بین آنیون‌های سطح الیاف به ویژه گروه‌های کربوکسیل و گروه‌های کاتیونی آمینی و همچنین قابلیت تشکیل پیوند کووالانسی از طریق واکنش گروه‌های کایتوزان با گروه آلدهیدی الیاف، از جمله تئوری‌های پیونددهی کیتوزان با سطح الیاف سلولزی، کاهش برخی گروه‌های جاذب آب در کاغذ حاصل می‌باشد [۲۲، ۲۳].تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که اثرات مستقل و متقابل نانوکیتوزان و پلی دادمگ بر روی جذب آب اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- مقایسه جذب آب (Cobb 60) کاغذ حاصل از افزودن پلی دادمگ و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف استفاده از پلی دادمگ و نانوکیتوزان و چگونگی تأثیر آن بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی(CMP) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزودن پلی دادمگ به خمیرکاغذ CMP روشنی، فاکتور*a، طول پارگی، مقاومت کششی و مقاومت به ترکیدن افزایش و زردی، سبزرنگی و جذب آب کاهش‌یافته، اما در ماتی، مقاومت به پارگی و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. نتایج نشان داد که با افزودن نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP نیز روشنی، فاکتور*a، ماتی، مقاومت های به پارگی، طول پارگی، مقاومت به ترکیدن و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل افزایش یافت، اما جذب آب و سبزرنگی در کاغذ حاصل کاهش را نشان داده است، در این حالت، در مقایسه با نمونه شاهد، مناسب‌ترین ویژگی ها در کاغذ حاصل از افزودن و ۱و۲ درصد کیتوزان به خمیرکاغذ CMP مشاهده شده است. با افزودن هم‌زمان پلی دادمگ و کیتوزان به خمیرکاغذ CMP روشنی، ماتی، فاکتور*a، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پارگی و مقاومت به عبور هوا افزایش مناسبی را نشان داد، اما زردی، جذب آب و سبزرنگی کاغذ حاصل کاهش داشته است. به‌طوری کلی نتایج این تحقیق نشان داد که افزودن ۲ درصد نانو کیتوزان(جداگانه) و همچنین افزودن هم‌زمان ۲درصد نانوکیتوزان و ۰/۵ و ۰/۷درصد پلی دادمگ به خمیرکاغذ CMP باعث بهبود اکثر ویژگی ها درکاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP شده است، که می-توان آن‌ها را بعنوان تیمار برتر انتخاب و معرفی کرد. به‌عبارت‌دیگر، از پلی دادمگ با پتانسیل بار مثبت، به عنوان یک ماده منعقدکننده آلی اولیه و خنثی‌کننده مواد کلوئیدی دارای بار الکتریکی منفی استفاده می‌شود، سپس در مرحله بعد با افزودن نانو کیتوزان و با پتانسیل ۳ بار مثبت(بارکاتیونی) نرمه‌ها و پرکننده‌ها را در کنار الیاف جذب خواهد کرد. در واقع، استفاده متوالی از پلی الکترولیت های مثبت و دوتایی مقدار بیشتری از اجزای کلوییدی و ذرات ریز را بر الیاف ماندگار می‌کند و مقاومت خشک بیشتری در کاغذ حاصل می‌شود.

منابع

[1] Barzan, A., and Soraki, S., 2002. Procedure of experimental for pulp and paper, Mazandaran Wood and Paper Industries, Sari, Iran, 111-121, (in Persian).

[2] John W., Buckley,C. A., Jacobs,E.,P. and Sanderson,R.D., 2002. Synthesis and use of poly-DADMAC for water purification paper presented at the Biennial Conference of the water Institute of Southern Africa (WISA), 19-23 May, Duban, South Africa.

[3] 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.

[4] Steckel, H., and Nogly, F.M., 2003. Production of chitosan pellets by extrusion/Herinization, European Journal. PHarm.BiopHar, 46, 1-6.

[5] 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.

[6] Pariser, E. R., and Lombardi, D. P. 1988. Chitin Sourcebook: A Guide to the Research Literature, Plenum Press, New York, NY.

[7] Mohseni Tavakoli, S., Resalati H., Afra, E., Imani , R., Liimatainen, H., 2014.Effect of chitosan-nanosilica sehf-assembly layers chitosan on cotton liner fiber and the paper properties, Iranian Journal of Wood and Paper Science Industries, 5(2), 81-92.

[8] Ahmadi Lajimi, A., Azadfallah, M.,Hamzeh.,Y., and Rahmaninia, M., 2020. Effect of cationic poly-DADMAC based fixing agent on strength properties of OCC pulp, 10(4): 605-616. (In Persian).

[9] Pourkarim Dodangeh, H., Jalali Torshizi,H., Rudi,H., and Ramzani,O., 2016. Performance of nano fibrillated cellulose(NFC) and chitosan bio-polymeric system on recycled and paper properties of old corrugated containers, Iranian Journal of Wood and Paper Science Industries,7(2),297-309.

[10] Rasoulpour Hedayati, N., Nazarnezhad, N., and Omid Ramezani, O., 2012. Fiber Surface Modification of Kraft Pulp in Presence of Chitosan Polymer, Journal of Forest and Wood Products, 67(2), 489-501.

[11] Rezazadeh, E.,Vaysi, R., and Ebadi, S.E. Soltani, M., and Najafi, A. ,2022.Comparison of the internal functionalization and surface modification methods of chemi-mechanical pulp handsheets using cellulose-chitosan nano-biopolymers and DTPA. BioResources, 17: 2810-2826.

[12] Ashoori, A., Harun, J., Raverty, J.D., Zin, W. Md., and Nor, M., 2005. Effect of chitosan addition on the surface properties of kenaf (Hibiscus cannabinus) paper, Iranian polymer journal, 9, 807-814.

[13] Nicu, R., Bobu,E.., and Desbrieres, J.,2010, Chitosanas cationic polyelectrolyte in wet-end papermaking system, Cellulose chemistry and technology journal,10:102-108.

[14] Technical association of pulp and paper industry, 2009. Standard test methods. Tappi press, Atlanta. GA. USA.

[15] Vaysi, R. and Yossofi Golordi, Y., 2020. Effect of nano-fibrillated cellulose and chitosan bio-polymeric system on the optical and mechanical properties of chemi-mechanical pulp (CMP), Iranian Journal of Wood, Paper Sci., and Technology 35(1), 61-75.

[16] Vaysi, R., and Kord, B., 2013.The effects of H2O2 bleaching and DTPA spraying on the brightness stability of hornbeam CMP pulp following accelerated irradiation aging, BioResource Journal,8(2),1909-1917.

[17] Nada, A. M. A., El-Sakhawy, M., Kamel, S., and Eid, M.A.M.,2005. Effect of chitosan and its derivatives on the mechanical and electrical properties of paper sheets. Egyptian journal of solids, 28(2):202-208.

[18] Li, H., Du, Y., and Xu, Y., 2004. Interaction of cationized chitiosan with components in a chemical pulp suspension, carbohydrate polymers journal, 58, 205-214.

[19] Nasir, N., and Daud, Z., 2014. Performance of aluminum sulphate and polyaluminium chloride in biodiesel wastewater. Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES) 7: 1189-1195.

[20] Wagberg, L., Forsberg,S., Johansson, A., and Juntti, P., 2002. Engineering of fiber surface properties by application of polyelectrolyte multilayer concept, Part 1. Modification of paper strength. Journal of Pulp and Paper Science, 28(7):222-228.

[21] Syverud, K. and Stenius, P., 2009. Strength and barrier properties of MFC films, Cellulose, (16):75-85.

[22] 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

[23] Hadilam,M., Afra, E., and Yousefi, H., 2013. Effect of cellulose nano-fibers on the properties of bagasse paper, Journal of Forest and Wood Products, 66(3), 351-366.

Effect of Poly-DADMAC and Nano-Chitosan System on the Optical and Mechanical Properties of Chemi-Mechanical Pulp

Abstract

This study evaluates the effect of nano-chitosan and poly-DADMAC on the optical and mechanical properties of chemi-mechanical pulp (CMP). To this end, bleached CMP pulps from Mazandaran Wood and Paper Industries (MWPI) were randomly selected as the control sample. Poly-DADMAC was utilized at four levels: 0, 0.3, 0.5, and 0.7 percent. Nano-chitosan was added to the CMP pulp suspensions at three levels: 0, 1, and 2 percent. Hand-sheets with a basis weight of 60 g/m² were prepared from these pulps, and the optical and mechanical properties were measured and compared using TAPPI standard test methods. The results demonstrate that the addition of poly-DADMAC to the CMP pulps led to an increase in brightness, the a* factor, breaking length, tensile strength, and burst strength, while reducing yellowness, greenness, and Cobb 60. Opacity, tear strength, and air resistance showed no significant changes. Furthermore, increasing the amount of nano-chitosan resulted in increased brightness, the a* factor, opacity, tear strength, burst strength, and air resistance, while reducing greenness and water absorption. These findings suggest that adding nano-chitosan to CMP pulps enhances their properties. Simultaneous addition of poly-DADMAC and nano-chitosan to CMP resulted in increased brightness, opacity, the a* factor, tear strength, burst strength, and air resistance, while decreasing yellowness, water absorption, and greenness. Moreover, simultaneous addition of 2% nano-chitosan (separate) and 2% nano-chitosan with 0.5% and 0.7% poly-DADMAC to the CMP pulp improved most of the paper properties, indicating it as the most effective treatment.

Keywords: Poly-DADMAC; Nano-chitosan; CMP pulp; Optical and mechanical properties.

H. Heydari[1]
R. Vaysi [2*]
A. Hosseinzadeh[3]
R. Bakhshi[3]
M. Kiaei[4]

[1] Ph.D student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

[2] Associate professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

[3] Assistant professor, Department of Wood and Paper Science and Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

Corresponding author:
vaysi_r452@yahoo.com

Received: 2023/12/11
Accepted: 2024/02/05