مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۶ شماره ۴، صفحه ۳۸۱-۳۶۸ (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijwpr.2021.353442.1662
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350913.1400.36.4.7.1

تأثیر سامانه پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانو بیوپلیمری کیتوزان بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل ازخمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP)

عیسی رضازاده[۱]، رامین ویسی[۲*]، مجتبی سلطانی[۴]، عبدالله نجفی[۳] و سید اسحاق عبادی[۴]

۱- دانشجوی دکترای گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران.

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران، پست‌الکترونیک: vaysi_r452@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران.

۴- استادیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران.

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۰

چکیده

این تحقیق با هدف تأثیر استفاده از پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان بر ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) انجام شد. به همین منظور، ابتدا مقداری از خمیرشیمیایی-مکانیکی (CMP) رنگبری شده کارخانه چوب و کاغذ مازندران به‌عنوان نمونه شاهد انتخاب شد. سپس پلی‌آلومینیم کلراید به‌صورت پودر سفید رنگ در ۴ سطح ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد استفاده گردید. همچنین کیتوزان در ۳ سطح ۰، ۱ و ۲ درصد به سوسپانسیون خمیرکاغذ CMP حاصل اضافه شد. از خمیرکاغذهای مذکور کاغذهایی با وزن پایه ۶۰ gr/m^2 تهیه و خواص نوری و مقاومتی آنها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه گردید. نتایج نشان داد با افزودن پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانو کیتوزان (جداگانه) به خمیرکاغذ CMP روشنی، ماتی، سبز رنگی، مقاومت‌های به پارگی، کششی، ترکیدن و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل افزایش یافته اما جذب آب و فاکتور*a کاهش را نشان می‌دهد. با افزودن همزمان پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و کیتوزان به خمیرکاغذ CMP روشنی و سبز رنگی کاغذ حاصل افزایش، ولی مقاومت‌های کششی، ترکیدن، پارگی، مقاومت به عبور هوا، جذب آب و ماتی ابتدا کاهش جزئی و بعد افزایش مناسبی را نشان دادند. به‌طورکلی نتایج نشان داد با افزودن ۱ درصد پلی‌آلومینیم کلراید (PAC)، ۲ درصد کیتوزان (جداگانه) و همچنین افزودن همزمان ۲ درصد کیتوزان و ۱/۵ درصد پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) به خمیرکاغذ CMP باعث بهبود بیشتر ویژگی‌ها در کاغذ حاصل شده است که می‌توان آنها را به‌عنوان تیمار برتر انتخاب و معرفی کرد.

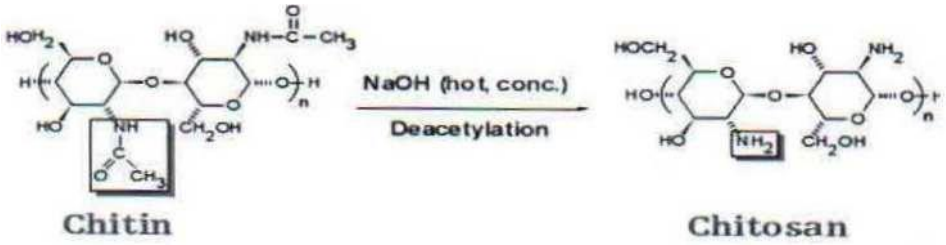
واژه‌های کلیدی: پلی‌آلومینیم کلراید (PAC)، کیتوزان، خمیرکاغذ CMP، ویژگی‌های نوری و مقاومتی.

مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت، افزایش تقاضای مصرف کاغذ و مقوا و همچنین محدودیت بیشتر مواد اولیه مصرفی، تولید خمیرکاغذهای با راندمان بالا و پربازده مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، 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 کاغذ های با کیفیت و بادوام از مطلوبیت کمتری برخوردارند؛ اما به

دلیل راندمان بیشتر و خصوصیات چاپ‌پذیری بهتر، از این خمیرکاغذها معمولاً برای تولید کاغذهای روزنامه، چاپ و تحریر مدارس و مقوا استفاده می‌گردد. دراین‌ارتباط، در کارخانه چوب و کاغذ مازندران سالیانه حدود ۵۲۰۰۰ تن کاغذ روزنامه و ۳۸۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر (سفارشی)، از خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) و از چوب‌های ممرز، راش و صنوبر تولید می‌گردد. برای بهبود قابلیت حرکت پذیری کاغذ در زمان تولید و چاپ، نیاز به به‌کارگیری حدود ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی است. این خمیرکاغذ وارداتی است و ضمن ایجاد وابستگی، سالیانه باعث صرف و خروج مقادیر زیادی ارز از کشور می‌گردد (Barzan *et al.*,2002). در سال‌های اخیر، پلی‌آلومینیوم کلراید (Poly Aluminium Chloride) یا پک (PAC) و با فرمول شیمیایی $AL_2(OH)_nCI_6$ به‌طور گسترده به‌عنوان جایگزینی برای دو منعقدکننده قدیمی سولفات آلومینیوم و کلروفریک مورد استفاده قرار گرفته است. در حال حاضر پلی‌آلومینیوم کلراید (پَک) در کشورهایی مانند آمریکا، کانادا، چین، ایتالیا، فرانسه و انگلستان به یکی از رایج‌ترین منعقد کننده‌های مورد استفاده در تصفیه آب و فاضلاب تبدیل شده است. در ایران نیز بسیاری از صنایع این ماده را به‌عنوان جایگزین منعقد کننده‌های قدیمی مورد استفاده قرار داده‌اند. مهمترین کاربردهای پلی آلومینیم کلراید را می‌توان در تصفیه آب آشامیدنی، تصفیه فاضلاب و پساب کارخانه‌های شیمیایی و صنایع نفت و پتروشیمی، تصفیه فاضلاب‌های شهری، تصفیه فاضلاب و پساب کشاورزی، استفاده در صنایع کاغذسازی و سلولزی، استفاده در صنایع نساجی، چرم و پوست نام برد (Fosso-Kankeu *et al.*, 2017). مزایای استفاده آن در صنعت کاغذسازی عبارت‌اند از: خنثی‌سازی و آهارزنی در الیاف سلولزی و تهیه کاغذ، کاهش نیاز به الیاف طبیعی‌تر در تهیه کاغذ، نرمی و پلاستیسیته بیشتر سطح کاغذ، افزایش سرعت خروج آب اضافی در کاغذ (افزایش سرعت خشک شدن)، چسبندگی بیشتر لایه‌های داخلی کاغذ (استحکام و مقاومت مکانیکی بالاتر) و غیره را نام برد (Fahmy *et al.*, 2009). عملکرد منعقد کننده‌های قدیمی ناپایدارسازی است که از طریق فشردگی لایه مضاعف الکتریکی در اطراف ذره کلوئیدی انجام می‌شود. درحالی‌که پلی‌آلومینیومکلراید عملیات تجمع‌سازی را از طریق جذب در سطح ذره کلوئیدی و ایجاد پل‌های اتصالی ذره- پلیمر-ذره انجام می‌دهد. این سازوکار موجب افزایش سرعت ناپایدارسازی ذره‌ای و درنتیجه رشد سریع‌تر ذرات و در نهایت بهبود ماندگاری ذرات می‌گردد. محدوده عملکرد PAC در pH۵-۹ می‌باشد، اما بهترین محدوده کارایی پلی‌آلومینیومکلراید در pH ۶/۵ تا ۷/۶ (pH خنثی) می‌باشد. پلی‌آلومینیومکلراید از طریق تولید یون‌های هیدروکسیل و پلیمرهای آنیونی چندظرفیتی باعث تشکیل مولکول‌ها و ماکرومولکول‌های غیرآلی الکتریکی بزرگ در سیستم‌های کلوییدی می‌گردد (Nasir *et al.*, 2014).

از سوی 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 ($-NHCOCH_3$) در موقعیت کربن C_2 است. مشتق استیل‌زدایی شده کتین ماده‌ای به نام کیتوزان است. کیتوزان یک زیست‌تخریب‌پذیر، زیست سازگار، ضد باکتری و ضد قارچ است و از منابع تجدیدشونده‌ای مانند سخت‌پوستان دریایی تهیه می‌شود. شباهت کیتوزان به سلولز سبب شده است تا سازگاری خوبی با سلولز الیاف خمیرکاغذ داشته باشد. زیرا تفاوت بین این دو بیوپلیمر، در جایگزینی گروه عاملی NH_2 بجای گروه هیدروکسیل کربن شماره ۲ کیتوزان است که به واکنش‌پذیر بیشتر آن به الیاف سلولزی نیز کمک می‌کند (شکل ۱) (Rahmaninia *et al.*, 2015, Steckel *et al.*, 2003). از تحقیقات قبلی گزارش شده که آمینوپلی‌ساکارید کیتوزان پیونددهنده بسیار خوبی برای ساختارهای الیاف سلولزی بوده و می‌تواند تا بیش از ۴۰ درصد کارآمدتر از نشاسته عمل نماید. کیتوزان به دلیل دارا بودن بارهای مثبت و بارهای مخالف (منفی) مواد سلولزی موجب تشکیل پیوندهای قوی‌تر و تولید کاغذ مقاوم‌تر می‌شود (Vanerek 2006, Pariser *et al.*, 1998).



شکل ۱- نحوه تشکیل کیتوزان از کتین (Rahmaninia *et al.*, 2015)

دراین‌ارتباط Ramaninia و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر pH بر عملکرد افزودنی‌های مقاومت خشک کیتوزان- نانوبنتونیت در خمیر شیمیایی- مکانیکی پهن‌برگان گزارش کردند که تیمار ۱/۲۵ درصد کیتوزان در سطح ثابت ۰/۳ درصد نانوبنتونیت در pH قلیایی بهترین مقاومت‌ها را از خود نشان داده است.

Azadfallah و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی افزودن پلی آلومینیم کلراید (PAC) و کربوکسی متیل سلولز (CMC) به کربنات کلسیم رسوبی (PCC) در خمیر رنگبری شده کرافت سوزنی‌برگان و تأثیر آنها بر ویژگی‌های نوری و مکانیکی کاغذ حاصل گزارش کردند که در مقادیر ۰/۸ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و ۴ درصد کربوکسی متیل سلولز (CMC) به همراه کربنات کلسیم رسوبی (PCC) تفاوت معنی‌داری در بهبود ماندگاری نسبت به نمونه شاهد (PCC) آنها مشاهده شده است. در نمونه‌های اصلاح شده با کمک PAC/CMC افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در بهبود ویژگی‌های مقاومتی، روشنی و ماتی کاغذهای حاصل شده است. بهترین نتایج این تحقیق در pH ۷/۵، افزودن ۰/۸٪ پلی آلومینیم کلراید (PAC) و ۴٪ کربوکسی متیل سلولز (CMC) گزارش شده است.

Mohseni Tavakkoli و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر لایه‌های خود سامان کایتوزان- نانوسلیکا بر روی الیاف پنبه و خواص کاغذ تهیه شده، گزارش کردند که شاخص مقاومت به کشش با لایه نشانی سه لایه نسبت به خمیر عمل‌آوری نشده تقریباً ۱۶ درصد افزایش و ضریب شکل‌گیری کاغذ به آرامی کاهش یافته است.

Tajik (۲۰۱۵) با به‌کارگیری از نانوسلولز، پلی اکریلامید و نشاسته کاتیونی در تقویت پیوندهای هیدروژنی داخلی کاغذ چاپ و تحریر حاصل از باگاس گزارش کردند که بهترین مقاومت‌ها در کاغذ حاصل از ۳ درصد نانوسلولز و ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی حاصل شده است.

Rashdi Joyibari و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر کاتیونی کردن الیاف سوزنی‌برگ توسط EPTMAC و اختلاط آن با خمیرکاغذ CMP را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاط الیاف بلند کاتیونی شده با خمیرکاغذCMP خواص مقاومتی و ماندگاری نرمه‌ها را افزایش می‌دهد.

Pourkarimi Dodangeh و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی عملکرد سامانه بیوپلیمری نانوسلولز و کیتوزان بر ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ بازیافتی گزارش کردند که کیتوزان نه‌تنها باعث افزایش مقاومت‌ها نشده، بلکه باعث کاهش مقاومت‌ها شده، ولی عملکرد آن مناسب‌تر از نانوسلولز بوده است.

Rasulpur و همکاران (۲۰۱۲) با اصلاح سطح الیاف خمیرکاغذ کرافت در حضور پلیمر کیتوزان گزارش کردند که کیتوزان در حالت بدون تیمار پروکسید نیز می‌تواند به‌عنوان یک ماده بهبوددهنده مقاومت خشک کاغذ عمل کند که این نتیجه می‌تواند ناشی از توانایی کیتوزان در ایجاد سه نوع پیوند هیدروژنی، یونی و کووالانسی باشد. از سویی اصلاح سطح الیاف توسط پروکسید هیدروژن، الیاف با بار منفی را افزایش می‌دهد و به‌همراه کیتوزان با بار مثبت یک سیستم دوتایی موفق تشکیل می‌دهد. در این تحقیق از نانوکیتوزان و پلی آلومینیم کلراید (PAC) به‌صورت مجزا و همزمان برای تیمار و بهبود ویژگی‌های خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی (CMP) استفاده شد. تاکنون سازوکار رفتار پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانو کیتوزان در

بهبود خواص خمیرکاغذ و به‌ویژه کاغذ حاصل از خمیر شیمیایی–مکانیکی (CMP) مورد بررسی قرار نگرفته است که هدف اصلی این تحقیق می‌باشد تا در این ارتباط مناسب‌ترین نتایج گزارش گردد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمونی

در این تحقیق ابتدا از واحد ماشین کاغذ (واحد ۶۰۰) کارخانه چوب و کاغذ مازندران، خمیرکاغذ شیمیایی–مکانیکی (CMP) رنگبری و پالایش شده با درجه روانی حدود CSF ۳۰۰ (میلی‌لیتر) تهیه و مقداری از خمیرکاغذ اولیه به‌عنوان نمونه شاهد انتخاب شد. لازم به ذکر است که در کشور ایران خمیر CMP در کارخانه چوب و کاغذ مازندران از ۷۵ درصد ممرز و ۲۵ درصد صنوبر و راش تولید می‌شود. در آینده صنوبر و چوب‌های وارداتی کم کم جایگزین راش خواهد شد (Barzan, 2002).

پلی آلومینیم کلراید (PAC):

پلی‌آلومینیوم کلراید (Poly Aluminium Chloride) یا پک (PAC) و با فرمول شیمیایی $AL_2(OH)_nCI_6$، با مشخصات ظاهری پودر سفید مایل به زرد رنگ از شرکت ابنیه پایدار سبز و از بازار تهیه شد. سپس در یک فلاسک ۳۰۰ میلی‌لیتری، برابر ۵ گرم از پلی‌آلومینیومکلراید در ۴۰ میلی‌لیتر آب‌مقطر و زمان ۱۵ دقیقه مخلوط گردید. بعد خیس کردن آنها، نمونه‌ها به کمک یک همزن آزمایشگاهی و در دور حدود ۷۰۰ rpm کاملاً همگن شدند. برای افزایش کارایی مؤثر پلی‌آلومینیومکلراید، نمونه‌های همگن شده بعد از صاف کردن به کمک قیف بوخنر، در pH ۷/۶ تنظیم و در ۳ سطح ۱،۰/۵ و ۱/۵ درصد به نمونه‌های آزمونی افزوده شد (Azadfallah, 2018).

آماده‌سازی کیتوزان

کیتوزان نیز که به‌صورت پودری کرم رنگ و شفاف می‌باشد از شرکت Seafresh کشور تایلند با وزن مولکولی ۲۷۰ دالتون و درجه استیلاسیون ۹۳ درصد تهیه شد. به‌منظور آماده‌سازی، برای تزریق محلول کیتوزان به دوغاب خمیرکاغذ، مقدار مورد نیاز کیتوزان در محیط اسید استیک ۱ درصد و به‌مدت ۲ ساعت در دمای اتاق توسط همزن حل شد. به هنگام ساخت کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی، ابتدا پلیمر کیتوزان به خمیرکاغذ در حال تلاطم با شدت دورانی ۵۰۰–۳۰۰ دور در دقیقه در ۵ سطح ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد افزوده شد و پس از ۱۰–۵ ثانیه به شدت دوران ۱۰۰۰–۸۰۰ رسانده شد و پس از کاهش به سطح حدود ۵۰۰ دور بر دقیقه، نانوذره‌ات سلولزی نیز در ۳ سطح ۰، ۲ و ۳ درصدی که قبلاً آماده‌سازی شده بود به سوسپانسیون خمیر اضافه گردید (Ashoori et *al.*, 2005; Nicu *et al.*, 2010).

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/m^2 تهیه شد. برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای تهیه شده از دستگاه اسپکتروفتومتری استفاده شد. این دستگاه در سیستم CIElab قادر به تشخیص رنگ فراورده‌های کاغذی می‌باشد. عملکرد این سیستم بر اساس خاصیت انعکاس نور از سطح مورد مطالعه استوار است. به‌طوری‌که بر این اساس درجه روشنی و ماتی کاغذها با استفاده از آزمون استاندارد T۴۲۵ om -۰۱ و T۴۵۲ om -۰۲ تعیین شد. سپس ویژگی‌های مقاومتی به‌ویژه مقاومت به پارگی، ترکیدن، کششی و مقاومت به عبور هوا کاغذهای حاصل به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های T ۴۰۳ om -۰۲، T ۴۱۴ om -۹۸، T ۴۹۴ om -۹۶ و T۴۶۰ om -۰۲ استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه گردید، درنهایت جذب آب (Cobb

60) کاغذهای دست‌ساز نیز با استفاده از آزمون شماره T ۴۴۱ om -۰۴ اندازه‌گیری شد (TAPPI, 2009).

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

تجزیه وتحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام شد. برای بررسی اثر متقابل متغیرها و گروه‌بندی میانگین‌ها از طرح کاملاً تصادفی، آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و گروه‌بندی میانگین‌ها از روش دانکن استفاده شد.

نتایج

مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی در سطح متغیرها

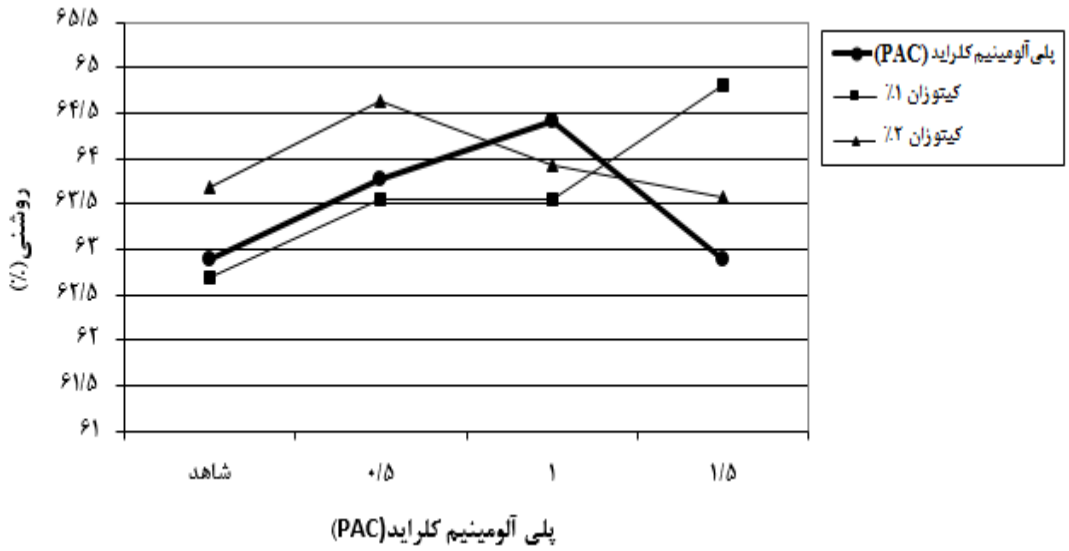
مقایسه میانگین ویژگی‌های نوری و مقاومتی کاغذ حاصل خمیرکاغذ CMP طی استفاده از پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان براساس آزمون دانکن بررسی شد. نتایج نشان داد که بین میانگین مشخصه‌های روشنی، ماتی، مقاومت به پارگی، فاکتور*a و مقاومت کششی در سطح ۱٪ و بین میانگین مشخصه‌های مقاومت به ترکیدن، مقاومت به عبور هوا و جذب آب در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس یک‌طرفه ویژگی‌های خمیرکاغذ CMP طی استفاده از پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان

مشخصه	روشنی		فاکتور*a		مقاومت به پارگی		مقاومت کششی		مقاومت به عبور هوا	
متغیر	آماره F	معنی‌داری	آماره F	معنی‌داری	آماره F	معنی‌داری	آماره F	معنی‌داری	آماره F	معنی‌داری
تیمارها	۳۸/۹	۰/۰۰۰۱	۱۳/۷۱	۰/۰۰۰۱	۴۳/۱۶	۰/۰۰۰۱	۲۱/۰۹	۰/۰۰۱	۷/۲۱	۰/۰۰۱

مقایسه درجه روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد با افزایش پلی آلومینیم کلراید (PAC) روشنی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که این بهبود روشنی با افزودن ۱ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) محسوس‌تر به نظر می‌رسد. با افزودن ۲ درصد نانوکیتوزان روشنی کاغذ حاصل

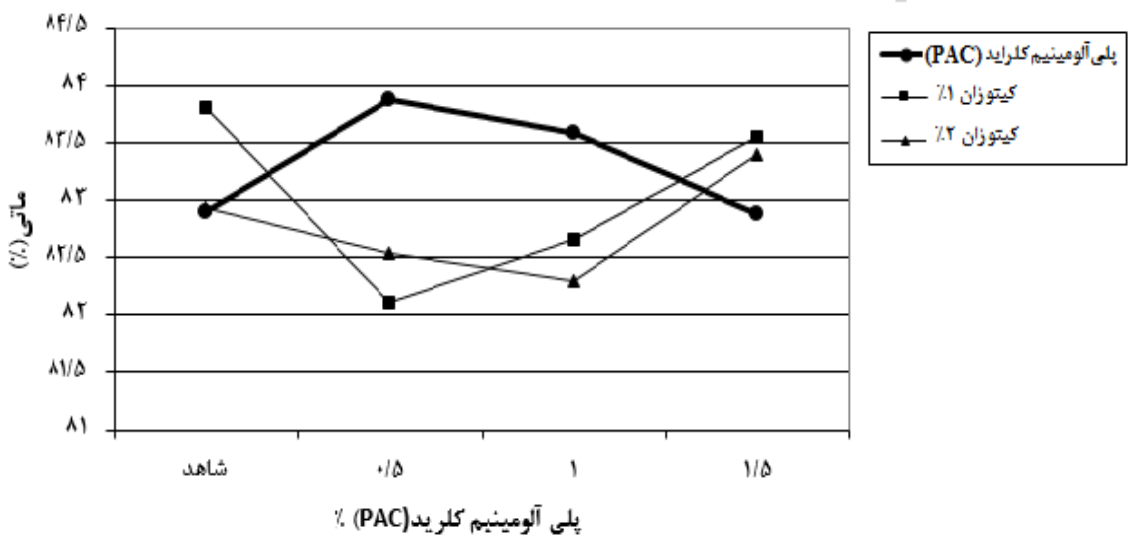


شکل ۲- مقایسه روشنی کاغذ حاصل از افزودن پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

از خمیرکاغذ CMP نیز افزایش یافت. به‌نحوی‌که با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) 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 ۱ درصد نانوکیتوزان با ۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) (۶۴/۸ درصد) و کمترین آن با افزودن ۱ درصد نانوکیتوزان (۶۲/۹ درصد) به نمونه شاهد مشاهده شد. در این ارتباط، کاغذ حاصل از افزودن ۲ درصد نانو کیتوزان و ۰/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) نیز دارای روشنی مناسبی در مقایسه با نمونه شاهد می‌باشد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین روشنی تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲).

مقایسه ماتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

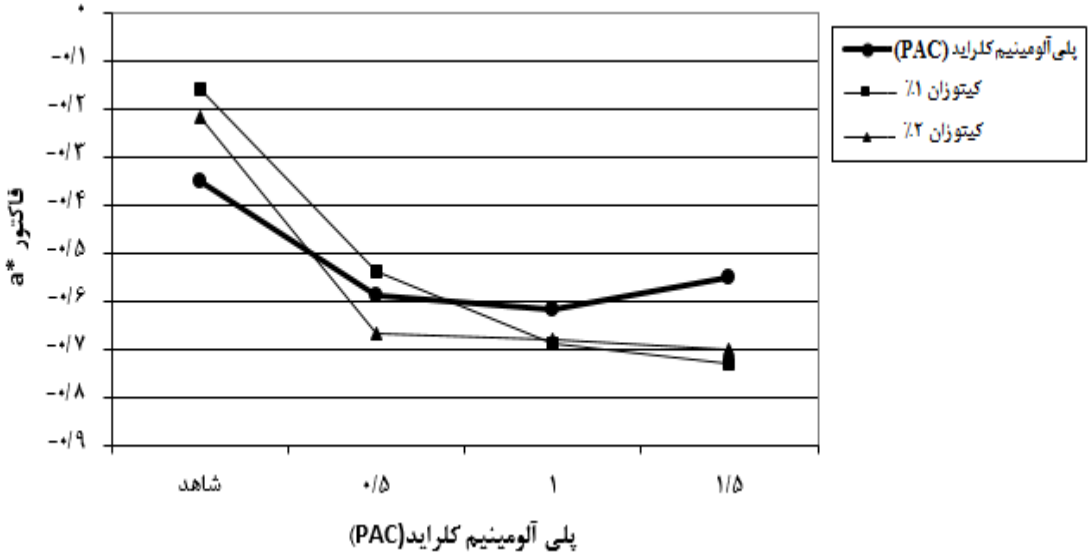
نتایج نشان داد با افزایش پلی آلومینیم کلراید (PAC) ماتی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP ابتدا افزایش و بعد کاهش یافته است. با افزودن ۲ درصد نانوکیتوزان ماتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان ماتی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد ابتدا کاهش و درنهایت افزایش را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین ماتی در کاغذ حاصل از افزودن ۰/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) (۸۳/۸۸ درصد) و کمترین آن با افزودن همزمان ۱ درصد نانوکیتوزان و ۰/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (۸۲/۰۸ درصد) به نمونه شاهد مشاهده شد. در این ارتباط، کاغذ حاصل از افزودن ۱ و ۲ درصد نانو کیتوزان و ۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و همچنین ۲ درصد نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP کارخانه نیز دارای ماتی مناسبی در مقایسه با نمونه شاهد می‌باشد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین ماتی تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه ماتی کاغذ حاصل از افزودن پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه فاکتور*a کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

در سیستم جهانی رنگ (CIE l*a*b*)، فاکتور a* نشان‌دهنده 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 آلومینیم کلراید (PAC) فاکتور*a کاهش و سبزرنگی کاغذ افزایش را نشان می‌دهد، این افزایش سبز رنگی برای خمیرکاغذ CMP که دارای راندمان بالا و لیگنین زیادتری است بسیار مناسب می‌باشد. به‌نحوی‌که با افزودن ۱ و ۲ درصد نانوکیتوزان فاکتور*a افزایش و سبزرنگی کاغذ کاهش را نشان می‌دهد. با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان فاکتور*a کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد کاهش محسوس و سبز رنگی افزایش قابل‌ملاحظه‌ای را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین سبز رنگی و کمترین فاکتور *a(۰/۷-) در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و ۱ و ۲ درصد نانوکیتوزان به نمونه شاهد مشاهده گردید. در این ارتباط، کاغذ حاصل از تمامی تیمارها (بجز افزودن ۱ و ۲ درصد نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP کارخانه) نیز دارای سبز رنگی مناسبی در مقایسه با نمونه شاهد بوده است. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین فاکتور*a تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۴).

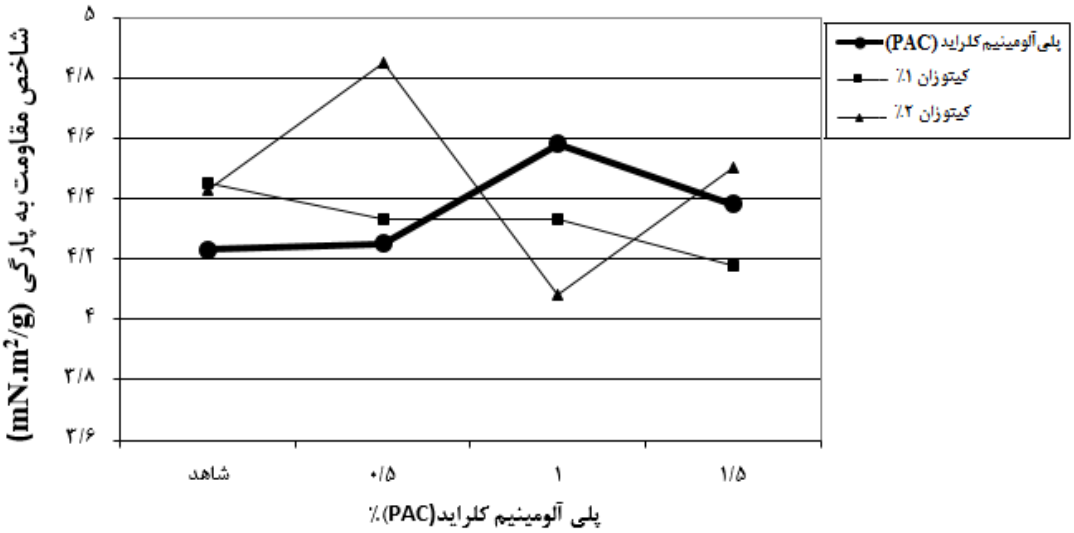


شکل ۴- مقایسه فاکتور*a کاغذ حاصل از افزودن پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه شاخص مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد با افزایش پلی آلومینیم کلراید (PAC) مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش جزئی یافته است. به‌طوری‌که با افزودن نانوکیتوزان مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان (به‌جز ۱ درصد) مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد ابتدا افزایش و بعد کاهش جزئی را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به پارگی (۴/۸۵ $mN.m^2/g$) در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۰/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و ۲ درصد نانو کیتوزان مشاهده شد. در این ارتباط، در بیشتر تیمارها (به‌جز در کاغذ حاصل از افزودن ۲ درصد نانو کیتوزان و ۱ درصد پلی

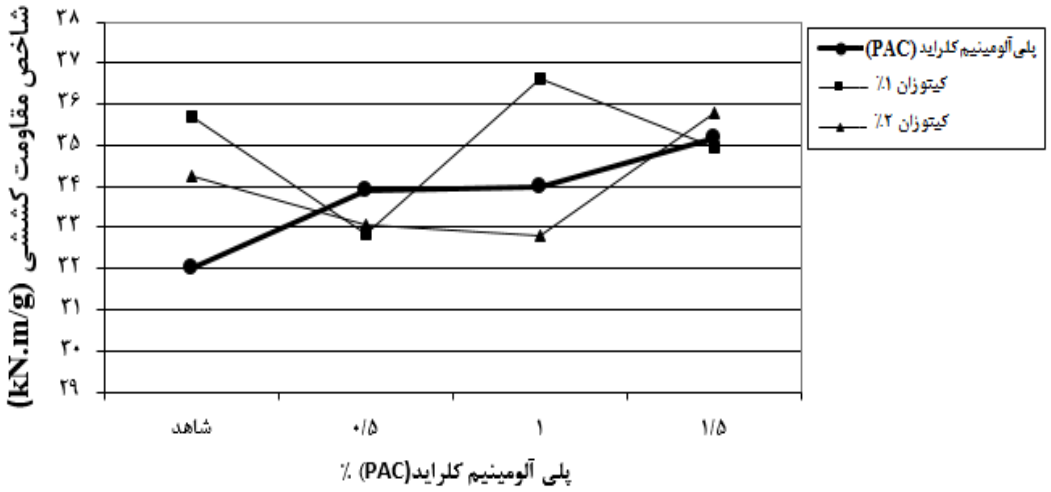
آلومینیم کلراید (PAC))، در مقایسه با نمونه شاهد مقاومت به پارگی مناسبی مشاهده گردید. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به پارگی تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه شاخص مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای CMP

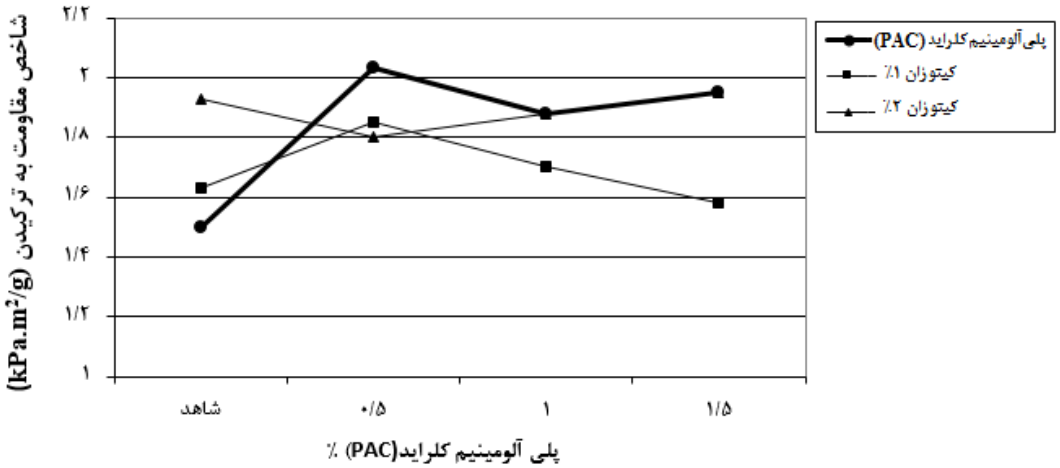
نتایج نشان داد با افزایش پلی آلومینیم کلراید (PAC) مقاومت کششی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش یافته است. با افزودن نانوکیتوزان نیز مقاومت کششی در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد ابتدا کاهش و بعد افزایش را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت کششی (kN.m/g ۳۶/۶) در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۱ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و ۱ درصد نانو کیتوزان و کمترین آن (۳۲ kN.m/g) در نمونه شاهد مشاهده شد. در این ارتباط، در تمامی تیمارها به‌ویژه در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) به‌علاوه ۱ و ۲ درصد نانو کیتوزان و همچنین در نمونه‌های حاصل از ۲ درصد نانوکیتوزان در مقایسه با نمونه شاهد مقاومت کششی مناسبی مشاهده گردید. ازآنجاکه مقاومت در برابر کشش از ویژگی هایی است که به اتصالات الیاف سلولزی بستگی دارد، کیتوزان نیز به‌عنوان یک ماده افزودنی مقاومت خشک ساختاری شبیه به رشته‌های سلولزی دارد، درنتیجه با استفاده از پیوندهای هیدروژنی و واندروالسی سبب بهبود اتصالات بین الیاف و به دنبال آن سبب بهبود مقاومت در برابر کشش می‌شود (Li *et al.*, 2004). 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 (Vanerek *et al.*, 2006). تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت کششی تیمارها در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه مقاومت کششی کاغذ حاصل از افزودن پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای CMP

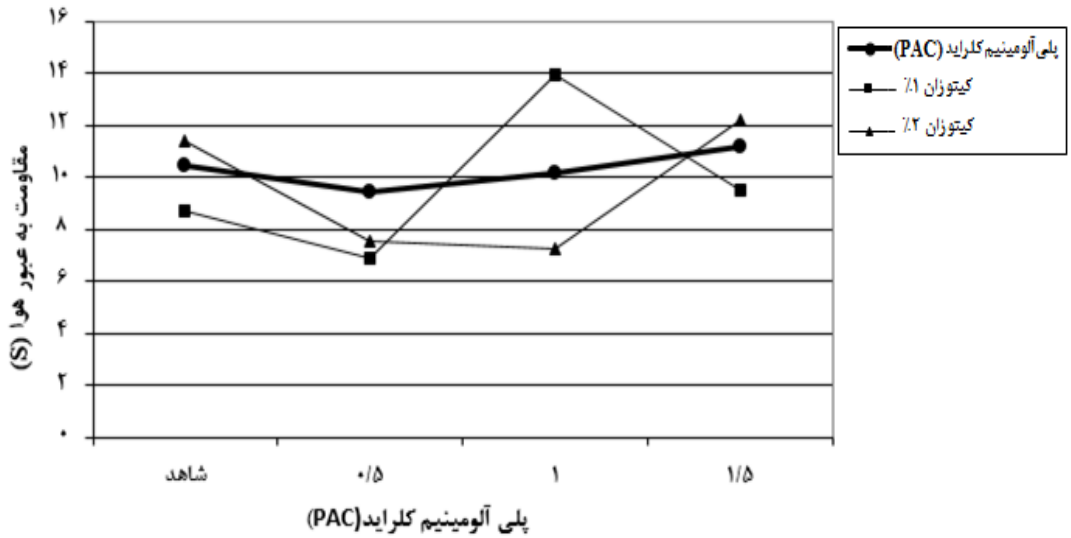
نتایج نشان داد با افزایش پلی آلومینیم کلراید (PAC) مقاومت به ترکیدن در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش یافته است. با افزودن نانوکیتوزان نیز مقاومت به ترکیدن در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان (به‌جز ۱ درصد) مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد ابتدا کاهش جزئی و بعد افزایش ملایم را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به ترکیدن (۲/۰۳ $kpa.m^2/g$) در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۰/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و کمترین آن (۱/۵ $kpa.m^2/g$) در نمونه شاهد مشاهده شد. در این ارتباط، در تمامی تیمارها به‌ویژه در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۱ و ۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) به همراه ۲ درصد نانو کیتوزان و همچنین در نمونه‌های حاصل از ۲ درصد نانوکیتوزان در مقایسه با نمونه شاهد مقاومت به ترکیدن مناسبی مشاهده گردید. در این ارتباط پلیمرهای کاتیونی مانند کیتوزان به سبب چگالی بار مثبت بالا، به راحتی می‌توانند با الیاف سلولزی اتصال ایجاد کنند. این ویژگی سبب افزایش ماندگاری نرمه‌ها می‌شود. ازاین‌رو، می‌توان گفت که کیتوزان علاوه بر عملکردش به‌عنوان یک ماده افزایش‌دهنده مقاومت خشک، با کمک در افزایش ماندگاری نرمه‌ها نیز می‌تواند منجر به بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ شود (Nicu *et al.*, 2010). البته هر چه سطح ویژه در الیاف بیشتر، الیاف نازک‌تر و انعطاف‌پذیرتر باشد، به دلیل ایجاد اتصال هیدروژنی بیشتر، پیوندهای بین الیاف افزایش یافته، درنتیجه مقاومت کاغذ به ترکیدن افزایش می‌یابد (Vaysi 2013). تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به ترکیدن تیمارها در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از افزودن پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

مقایسه مقاومت به عبور هوا کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد با افزایش پلی آلومینیم کلراید (PAC) مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP ابتدا کاهش جزئی و بعد افزایش ملایم را نشان داده است. به‌نحوی‌که با افزودن ۲ درصد نانوکیتوزان نیز مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP افزایش را نشان می‌دهد. با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان (به‌جز ۱ درصد) مقاومت به عبور هوا کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد ابتدا کاهش و بعد افزایش را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به عبور هوا (۱۳/۹۵ ثانیه) در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۱ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و درصد نانوکیتوزان و کمترین آن (۶/۸۸ ثانیه) در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۰/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) و ۱ درصد نانوکیتوزان مشاهده شد. در این ارتباط، در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۱/۵ درصد پلی

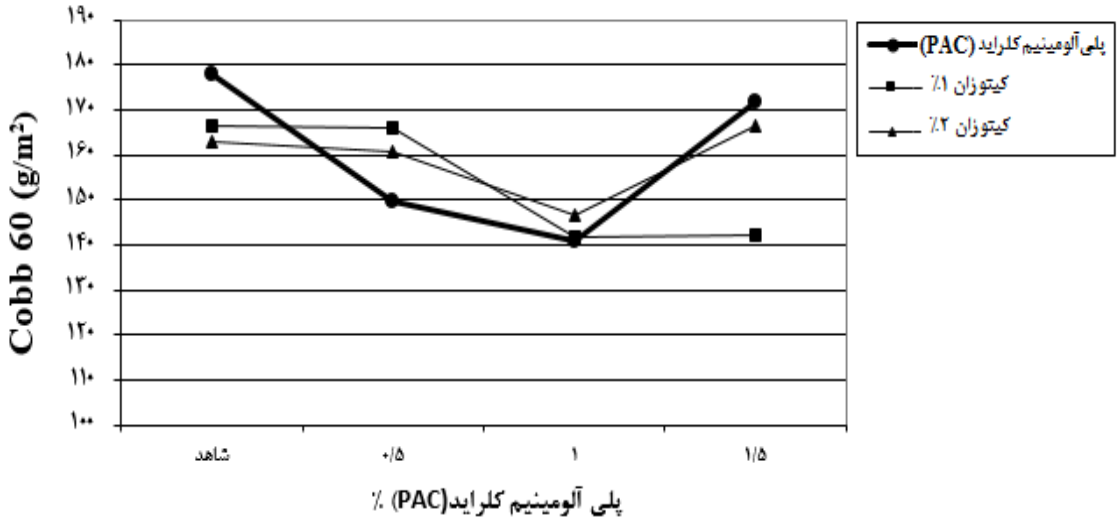


شکل ۸- مقایسه مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از افزودن پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

آلومینیم کلراید ۱ (PAC) به همراه ۲ درصد نانو کیتوزان و همچنین در نمونه‌های حاصل از ۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) در مقایسه با نمونه شاهد مقاومت به هوای مناسبی مشاهده گردید. در اثر پراکنش یکنواخت‌تر نانو فیبرهای سلولزی و درنتیجه افزایش شبکه و سطح پیوند بین لیفی باعث کاهش خلل و فرج و روزنه‌های موجود در ساختار کاغذ شده، همچنین درازای مسیر عبور مولکول‌های هوا از کاغذ به دلیل ایجاد مسیر زیگزاکی طی شده در کاغذ بیشتر می‌شود، ازاین‌رو حجم مشخص از هوا به زمان بیشتری برای عبور از کاغذ نیاز دارد، نفوذپذیری در کاغذ کاهش و مقاومت به عبور هوا افزایش می‌یابد (Syverud *et al.*, 2009). تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به عبور هوا تیمارها در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۸).

مقایسه جذب آب کاغذ حاصل از خمیرکاغذهای CMP

نتایج نشان داد با افزایش پلی آلومینیم کلراید (PAC) و کیتوزان جذب آب در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP کاهش محسوس یافته است. به‌نحوی‌که با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان (به‌جز ۱ درصد) جذب آب در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد ابتدا کاهش و بعد افزایش را نشان داده است. در بین تیمارهای مختلف بیشترین جذب آب در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP (شاهد) (۱۷۷/۸g/m^2) و کمترین آن (۱۴۰/۸g/m^2) با افزودن ۱ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) به خمیرکاغذ CMP مشاهده شد. در این ارتباط، در تمامی تیمارها به‌ویژه در کاغذ حاصل از افزودن همزمان ۱ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) به همراه ۱ و ۲ درصد نانو کیتوزان و همچنین در نمونه‌های حاصل از ۱ درصد نانوکیتوزان جذب آب کمتر و مناسبی در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده گردید. این کاهش جذب آب در کاغذ بیشتر تحت تأثیر کیتوزان بوده است. توانایی برقراری پیوند هیدروژنی بین گروه‌های آمینی کیتوزان و گروه‌های هیدروکسیلی الیاف امکان تشکیل پیوندهای الکتروستاتیکی بین آنیون‌های سطح الیاف به‌ویژه گروه‌های کربوکسیل و گروه‌های کاتیونی آمینی و همچنین قابلیت تشکیل پیوند کووالانسی از طریق واکنش گروه‌های کاتیوزان با گروه آلدهیدی الیاف، ازجمله تئوری‌های پیونددهی کیتوزان با سطح الیاف سلولزی، کاهش برخی گروه‌های جذب کننده آب در کاغذ حاصل می‌باشند (Nikolaeva, 2010). تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین جذب آب تیمارها در سطح ۵٪ تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۹).



شکل ۹– مقایسه جذب آب (Cobb 60) کاغذ حاصل از افزودن پلی‌آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP

بحث

این تحقیق با هدف تأثیر استفاده از پلی آلومینیم کلراید (PAC) و نانوکیتوزان بر ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزودن پلی آلومینیم کلراید (PAC) به خمیرکاغذ CMP، روشنی، ماتی، سبز رنگی، مقاومت به پارگی، کششی، ترکیدن و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل افزایش یافته، اما جذب آب و فاکتور*a کاهش را نشان می‌دهد، به‌طوری‌که مناسب‌ترین نتایج در کاغذ حاصل از افزودن ۱ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) به خمیرکاغذ CMP مشاهده شد. در این ارتباط، عملکرد منعقد کننده‌های قدیمی از طریق فشردگی لایه مضاعف الکتریکی در اطراف ذره کلوئیدی انجام می‌شود. درحالی‌که پلی‌آلومینیوم کلراید عملیات تجمع سازی را از طریق جذب در سطح ذره کلوئیدی و با ایجاد پل‌های اتصالی ذره- پلیمر-ذره انجام می‌دهد. این سازوکار موجب افزایش سرعت ناپایدارسازی ذره‌ای و درنتیجه رشد سریع‌تر دلمه شدن ذرات و در نهایت بهبود ماندگاری ذرات می‌گردد. پلی‌آلومینیوم کلراید از طریق تولید یون‌های هیدروکسیل و پلیمرهای آنیونی چندظرفیتی باعث تشکیل مولکول‌ها و ماکرومولکول‌های غیرآلی الکتریکی بزرگ در سیستم‌های کلوییدی می‌گردد (Nasir *et al.*, 2014, Fosso-Kankeu *et al.*, 2017, Heermann *et al.*, 2006). نتایج نشان داد با افزایش نانوکیتوزان به خمیرکاغذ CMP نیز روشنی، ماتی، سبز رنگی، مقاومت به پارگی، کششی، ترکیدن و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل افزایش یافته اما جذب آب و فاکتور*a کاهش را نشان می‌دهد، در این حالت، مناسب‌ترین ویژگی‌ها در کاغذ حاصل از افزودن ۲ درصد کیتوزان به خمیرکاغذ CMP مشاهده شده است که با عنایت به اینکه گروه‌های آمینی کیتوزان توانایی ایجاد اتصال یونی و کووالانسی با سطح الیاف سلولزی به‌ویژه الیاف اصلاح سطح شده و دارای گروه‌های عاملی بیشتری را دارند. ازآنجاکه کیتوزان ساختاری شبیه سلولز دارد، می‌تواند سازش‌پذیری خوبی با سطح الیاف سلولزی داشته باشد و طیف وسیعی از پیوندهای متفاوت را با آن ایجاد کند (Nada *et al.*,2005). با افزودن همزمان پلی آلومینیم کلراید (PAC) و کیتوزان به خمیرکاغذ CMP روشنی و سبز رنگی کاغذ حاصل افزایش، ولی مقاومت کششی، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به پارگی، مقاومت به عبور هوا، جذب آب و ماتی ابتدا کاهش جزئی و بعد افزایش مناسبی را نشان دادند. به‌طوری‌که افزودن ۲ درصد نانو کیتوزان (جداگانه)، ۱ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC)(جداگانه) و همچنین افزودن همزمان ۲ درصد کیتوزان و ۱/۵ درصد پلی آلومینیم کلراید (PAC) به خمیرکاغذ CMP باعث بهبود بیشتر ویژگی‌ها در کاغذ حاصل از خمیرکاغذ CMP شده است که می‌توان آنها را به‌عنوان تیمار برتر انتخاب و معرفی کرد؛ بنابراین افزودن پلی آلومینیم کلراید (PAC) با قابلیت ۷ بار مثبت، باعث باردار شدن سطح الیاف (بار کاتیونی) خواهد شد، سپس در مرحله بعد با افزودن نانو کیتوزان با قابلیت ۳ بار مثبت (بارکاتیونی) نرمه‌ها و پرکننده‌ها را در کنار الیاف جذب خواهد کرد. در واقع، استفاده متوالی از پلی‌الکترولیت‌های مثبت و دوتایی مقدار بیشتری از اجزای کلوییدی و ذرات ریز را بر الیاف ماندگار می‌کند و مقاومت خشک بیشتری را حاصل می‌نماید (Hadilam *et al.*, 2013, Wagberg *et al.*, 2002). در این ارتباط، پلیمرهای کاتیونی مانند کیتوزان به سبب چگالی بار مثبت بالا و اتصال با الیاف سلولزی، سبب افزایش ماندگاری نرمه‌ها و بهبود ویژگی‌های مقاومتی می‌شوند (Ashoori *et al.*, 2005, Steckel *et al.*, 2003).

منابع مورد استفاده

-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.

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

- Fahmy, T.Y.A. and Mobarak, F., 2009. Advanced nano-based manipulations of molasses in the cellulose and paper discipline: Introducing a master cheap environmentally safe retention aid and strength promoter in papermaking. Carbohydrate Polymers 77(2): 316-319.

-Fosso-Kankeu, E., Webster, A., Ntwampe, I.O. and

polymeric system on recycled and paper properties of old corrugated containers, Iranian Journal of Wood and Paper Science Industries,7(2),297-309.

-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.

-Rashidi Joybari, I., Azadfalah, M., Resalati, H., Hamzeh, Y. and Yosofi, H., 2015. Investigation of effect cationic soft wood fiber by EPTMAC and mixed it's with CMP pulp, Journal of Forest and Wood Products, 68(2):235-245.

-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.

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

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

-Tajik, M., 2015. Using of nano-cellulose, polyacrylamide and cationic starch in internal H-bond reinforced of bagasse printing paper, M.S. thesis, Shahid-Behesti University, 1-2.

-Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2009. Standard Test Methods. Tappi Press, Atlanta, GA. USA.

-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.

-Vaysi, R. and Kord, B., 2013.The effects of H_2O_2 bleaching and DTPA spraying on the brightness stability of hornbeam CMP pulp following accelerated irradiation aging, BioResource Journal,8(2),1909-1917.

-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.

Waanders, F.B., 2017. Coagulation/flocculation potential of polyaluminium chloride and Bentonite clay tested in the removal of methyl red and crystal violet, Arabian Journal for Science and Engineering 42:1389-1397.

-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.

-Heermann, M., Welter, S. and Hubbe M.A., 2006. Effect of high treatment levels in a dry-strength additives: program based on deposition on polyelectrolyte complexes, how much glue is too much? Tappi journal, 5(6),9-14.

-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.

-Mohseni Tavakoli, Resalati H., Afra, E., Imani, R. and 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.

-Mousavipazhouh, H., Azadfallah M. and Rashidi Jouybari, I., 2018. 1 Encapsulation of precipitation calcium carbonate fillers using carboxymethyl cellulose/polyalumium chloride: preparation and its influence on mechanical and optical properties of paper, Maderas. Ciencia y tecnología 20(4), 703 – 714.

-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.

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

-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.

-Pourkarim Dodangeh, H., Jalali Torshizi, H., Rudi, H. and Ramzani, O., 2016. Performance of nano fibrillated cellulose(NFC) and chitosan bio-

Effect of polyalumium chloride and nano-chitosan bio-polymeric system on the optical and mechanical properties of paper made using chemi-mechanical pulp (CMP)

E. Rezazadeh[1], R. Vaysi[2*], M. Soltani[4], A. Najafi[3] and S.E. Ebadi[4]

1- Ph.D. Student, Dept. of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

2*- Corresponding author, Associate Prof., Dept. of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran, Email: vaysi_r452@yahoo.com

3- Associate Prof., Dept. of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous Iran.

4- Assistant Prof., Dept. of Wood Science and Paper Technology, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

Received: Feb., 2021 Accepted: July, 2021

Abstract

This study was aimed to investigate the effect of polyalumium chloride and nano-chitosan on optical and mechanical properties of paper made using chemi-mechanical pulp. For this purpose, some of the bleached CMP pulp from Mazandaran Wood and Paper Industries (MWPI) were randomly selected as a control sample. In addition, the polyalumium chloride powder were used at 4 levels of 0, 0.5, 1, and 1.5%. The nano-chitosan was then added to the CMP pulps suspensions at 3 levels of 0, 1, and 2%, as well. Hand-sheets with a basis weight of 60 gr/m^2 were prepared from the prepared pulps. The optical and mechanical properties were then measured and compared using TAPPI standard test methods. The results showed that by adding polyalumium chloride and nano- chitosan separately to the CMP pulps, brightness, opacity, greenness, tear, tensile, burst strengths, air resistance increased, but Cobb 60 and a* factor decreased. On the other hand, with the addition of nano-chitosan and polyalumium chloride to CMP pulp, the brightness and greenness increased, but tensile, burst, tear strengths, air resistance, Cobb 60 and opacity was initially fairly decreased and then acceptably increased. Moreover, the findings showed that by separate addition of 1% polyalumium chloride and 2% nano-chitosan(separate) and simultaneous addition of 2% nano-chitosan with 1.5% polyalumium chloride to the CMP pulp, most of the paper properties were improved. Therefore, it can be introduced as the best treatment.

Keywords: Polyalumium chloride, nano-chitosan, CMP pulp, optical and mechanical properties.