DOI: http://dx.doi.org/10.22092/ijwpr.2013.3413

فصلنامهٔ علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۲۸، شمارهٔ ۳، صفحهٔ ٤٦٢-٤٥١، (۱۳۹۲)

بررسی سیستم دوتایی عامل مقاومت تر بر ویژگی‌های کاغذهای بهداشتی از الیاف بکر

فرحناز بهزادی[۱*]، سیدمحمدجواد سپیده‌دم[۲]، احمد جهان‌لتیباری[۳] و علیرضا خاکی‌فیروز[٤]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی‌ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی کرج
پست‌الکترونیک: farahnazbehzadi@yahoo.com
۲- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
۳- دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
٤- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۲

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر استفاده از پلی‌آمینوآمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) و کربوکسی‌متیل‌سلولز (CMC) بر مقاومت‌های مکانیکی خشک و تر کاغذهای ساخته شده از خمیر بکر انجام شد. در این مطالعه از پلی‌آمینوآمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) در سه سطح وزنی (۰، ۰/۵ و ۱ درصد) و کربوکسی‌متیل‌سلولز (CMC) در ٤ سطح وزنی (۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) استفاده شد. همچنین از خمیرکاغذ، با درصد اختلاط الیاف‌بلند: الیاف‌کوتاه (٦۰:٤۰) تهیه شده از کارخانه لطیف، استفاده شد در ادامه کاغذهای دست‌ساز ۸۰ گرمی تهیه شد و پس از آن کلیه نمونه‌ها در اتوو با دمای ۵±۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و قبل از انجام آزمون‌های مورد نظر به مدت ۲٤ ساعت در شرایط مشروط‌سازی (دمای ۱±۲۳ درجه سلسیوس و رطوبت ۲±۵۰٪) قرار گرفتند. درنهایت خواص مقاومتی کاغذهای دست‌ساز براساس استاندارد ملی ایران اندازه‌گیری شد. نتایج حکایت از آن داشت که کاغذهای تولید شده با پلی‌آمینوآمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) و کربوکسی‌متیل‌سلولز (CMC) دارای خواص مکانیکی مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های شاهد بود. به‌طوری‌که با افزایش درصد وزنی پلی‌آمینوآمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) و کربوکسی‌متیل‌سلولز (CMC)، میزان شاخص مقاومت کششی خشک و تر و نیز شاخص مقاومت به ترکیدن خشک و تر افزایش یافتند.

واژه‌های کلیدی: کاغذ، کاغذهای بهداشتی، PAE، CMC، شاخص مقاومت کششی، شاخص مقاومت به ترکیدن.

مقدمه

دستمال کاغذی یکی از نخستین انواع کاغذ می‌باشد که از خمیر کاغذ تهیه می‌شود. دستمال کاغذی یکی از فراورده‌های صنایع سلولزی است که کاغذ با وزن کم است و از الیاف طبیعی ساخته می‌شود و منشأ این الیاف، الیاف بکر یا بازیافتی است (عزیزی و شهریاری، ۱۳۸۷). صنعت کاغذهای بهداشتی یکی از صنایع روبه رشد در جهان است که در سال‌های اخیر از یک سو با افزایش تقاضا و تنوع مصرف در نزد مصرف‌کنندگان و از سوی دیگر به‌دلیل امکان استفاده از فناوری‌های مدرن، از تحقیقات اولیه گرفته تا تولید و توزیع توسعه چشم‌گیری داشته است (اختراع و همکاران، ۱۳۸۸). امروزه رقابت در بازار محصولات کاغذهای

بهداشتی، تولیدکنندگان را وادار می‌کند که از ویژگی‌های کیفی و مشتری‌پسند محصولات کاغذهای بهداشتی بررسی‌های علمی و نظام‌مند به‌عمل آورند تا سهم خود را در بازار آن محصولات حفظ و ارتقاء دهند. مهمترین ویژگی‌های کیفی که تولیدکنندگان کاغذهای بهداشتی سعی می‌کنند آنها را در تولیدات خود رعایت نمایند عبارت از نرمی، استحکام، جذب‌کنندگی، شکل ظاهری، ضخامت، پاک‌کنندگی و روشنی می‌باشد. کاغذهای بهداشتی معمولاً به وسیله چین‌دار کردن سطح کاغذ[1] و یا آجدار کردن سطح کاغذ، دارای سطح بیشتر و در نتیجه جذب آب بیشتری خواهند شد و میزان جذب آب بالا یکی از فاکتورهای مهّم کیفی کاغذهای بهداشتی محسوب می‌شود. به همین دلیل داشتن مقاومت زیاد بخصوص مقاومتِ‌تر از ویژگی‌های مهّم در این محصول، محسوب می‌گردد. در حال حاضر روش-های مختلفی برای رسیدن به این ویژگی وجود دارد که در این روش‌ها از مواد شیمیایی استفاده می‌شود. از آن جمله می‌توان به رزین‌های مختلف مقاومتی اشاره کرد (همزه و رستم‌پور، ۱۳۸٦). همچنین از سوی دیگر استفاده از افزودنی‌های مناسب مانند پلی‌آمینوآمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) و کربوکسی‌متیل‌سلولز (CMC) به دلیل افزایش مقاومت کاغذهای بهداشتی می‌تواند راهکاری در جهت استفاده بهینه و مقرون‌به‌صرفه در تولیدات این نوع محصولات سلولزی باشد . از سال ۱۹۹٤ روش‌های عملی جذب کربوکسی‌متیل سلولز برای افزایش شارژ آنیونی خمیرکاغذ مورد مطالعه قرار گرفت که از ترکیب CMC و PAEبر روی خمیر کرافت سوزنی‌برگ رنگبری شده و همچنین خمیر سوزنی‌برگ و پهن‌برگ به نسبت ۵۰:۵۰ استفاده شد و نتایج حکایت از افزایش مقاومت‌های تر و خشک در کاغذهای دست‌ساز این خمیرها داشت (Holik, 1995 ;Giri, 2000) بنابراین، با تکیه بر این حقیقت که کاربرد خمیر کاغذ با درصد خشکی بالا به همراه پرکننده‌های معدنی، نیاز امروز و آینده صنایع کاغذسازی است، به‌طوری‌که با انجام آزمایش‌هایی مشاهده نمودند که پراکنده کردن این دوغاب‌ها به میزان بسیار زیادی با میزان CMC جذب شده بر روی الیاف ارتباط دارد. همچنین مطابق نتایج Devore and Fischer, (۱۹۹۳)، مقاومت‌های کششی کاغذهای دست‌ساز ساخته شده با رزین‌های PAE از یک روند افزایشی در ارتباط با رفتار شبکه‌های غیرمستقل از رزین و الیاف کاغذ پیروی می‌کند. این روند افزایشی به گونه‌ای که برای پیوند کووالان با الیاف کاغذ شناخته شده است، برای عوامل مقاومت‌تر به‌کار گرفته نمی‌شود، اما برای PAE در حضور کربوکسی متیل‌سلولز بکار می‌رود. در مطالعه‌ای دیگر، Fischer در سال ۱۹۹٦ اظهار داشت که شاخص مقاومت کششی کاغذ ساخته‌شده با PAE، به وزن معادل نسبی رزین که بر پایه‌ی آزتیدینیوم که فعال‌ترین گروه واکنشی شبکه‌ای کننده[2] در رزین می‌باشد، بستگی دارد. Gardlundو همکاران (۲۰۰۳)، در تحقیقی نشان دادند که به وسیله تغییر نسبت‌های وزن پلیمر به هنگام آماده‌سازی کمپلکس‌ها، بار و مقدار جذب می‌تواند تغییر کند. اما افزودن کمپلکس‌ها به الیاف، قبل از تهیه کاغذ، در مقایسه با استفاده از PAE به‌تنهایی، منجر به افزایش معنی‌دار در مقاومت کاغذ گردید. همچنین نتایج نشان داد که بهبود مقاومت به نسبت اختلاط بستگی دارد و یک بیشینه مقاومت خشک برای کمپلکس‌هایی که بار آنیونی CMC به میزان ٦۰ درصد خنثی شده بود، مشاهده گردید. Blomstedt and Vuorinen (۲۰۰۷)، خمیرکاغذ کرافت سوزنی‌برگان را با کربوکسی

1- Crepe

2- Cross Linking

متیل‌سلولز (CMC) و سورفاکتانت‌های کاتیونی اصلاح کردند. تیمار با دسیل تری متیل‌آمونیوم بروماید (C12TAB) به‌طور قابل توجهی مقاومت‌های داخلی و کششی کاغذهای دست‌ساز تهیه‌شده از خمیر اصلاح‌شده را افزایش داد. نتایج تحقیق Blomstedt و همکارانشان (۲۰۰۷) حکایت از افزایش قابل توجه شاخص مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز به هنگام استفاده از CMC داشت. همچنین، بعد از اصلاح با CMC، تمام ویژگی‌های مقاومتی به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. نتایج تحقیق Kontturi و همکاران (۲۰۰۸)، ۱۵٪ بهبود در شاخص کشش و ۲۵٪ بهبود در شاخص پارگی کاغذهای ساخته‌شده از الیاف تیمارشده با CMC را بعد از یک توالی کامل رنگبری در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد. نتایج Fatehi و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که کاربرد کیتوسان اصلاح‌شده (MCN) و CMC با وزن مولکولی بالا (HCMC) (با نسبت ۱:۱)، شاخص‌های کششی، ترکیدن و پارگی را افزایش داد.

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف این تحقیق بررسی بهبود مقاومت‌های مکانیکی محصولات بهداشتی سلولزی به هنگام استفاده از PAE، CMC و همچنین پیدا نمودن حد مناسب مصرف مواد شیمیایی مذکور برای رسیدن به شاخص‌های مورد نظر می‌باشد. امید است این گونه تحقیقات برای رسیدن به کیفیت برتر در محصولات سلولزی بهداشتی مورد استفاده صنایع قرار بگیرد.

مواد و روشها

مواد

در این پژوهش از خمیر کاغذ الیاف بلند رنگبری شده بکر (اختلاط ۷۰ تا ۱۰۰ درصد گونه کاج سیلوستر به همراه صفر تا ۳۰ درصد گونه نوئل) به‌همراه خمیر کاغذ الیاف کوتاه رنگبری شده بکر (اختلاط ۴۵ درصد گونه بلوط به همراه ۵۵ درصد گونه آکاسیا) که از شرکت محصولات کاغذی کارخانه لطیف تهیه شده بود، استفاده گردید. همچنین از رزین PAE با نام تجاری NEFESIN 17/A که یک عامل مقاومت‌تر کاتیونی با کارآیی بالا می‌باشد و تحت شرایط کاغذسازی اسیدی یا قلیایی عمل می‌کند، استفاده شد. این رزین همچنین در کاربردهای مهّم دیگر در فرایند کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی رزین PAE

ظاهر	محلول زرد شفاف
درصد کل مواد جامد	۱۷ ±۰/۵
دانسیته	۱۰۳۰-۱۰۴۰Kgm^3
ویسکوزیته (۲۰°C)	۱۲-۱۳ ثانیه
نقطه انجماد	-۲°C
عمر انبارداری (۵-۲۰°C)	۸ ماه
درصد AOX	۰/۱

همچنین از کربوکسی متیل سلولز با برند تجاری TEK CMC 100 استفاده شد که برای محصولات کاغذی بهداشتی (کاغذهای بهداشتی) و تولید مقوا توصیه شده است. این محصول می‌تواند مقاومت‌های تر و خشک، نرمی و ویژگی‌های نوری را افزایش دهد و پارگی‌ها را در ماشین کاغذ کاهش دهد. این محصول به هنگام خریداری دارای حداکثر ۱۰ درصد رطوبت، pH ۱۱/۵-۷، درجه استخلاف ۰/۷-۰/۵، دانسیته حجمی ۷۰۰-۵۰۰ گرم بر لیتر و ویسکوزیته ۲۰۰-۱۰۰ سانتی‌پواز بود.

روشها

آماده‌سازی خمیر الیاف

به‌منظور رساندن مخلوط خمیرهای کاغذسازی به درجه‌روانی مورد نظر، خمیر کاغذهای تهیه شده به مرکز تحقیقات البرز انتقال داده شده و با دستگاه PFI تا رسیدن به درجه‌روانی مورد نظر که ۳۰ تا ۳۵ بود، پالایش شدند. لازم به ذکر است که با استفاده از ۹۳۰۰ دورپالایش الیاف، درجه‌روانی مورد نظر (۳۰ تا ۳۵) حاصل شد.

ساخت نمونه‌های آزمونی

در ادامه بعد از پالایش، خمیر کاغذها برای ساخت نمونه‌های کاغذ دست‌ساز آماده شدند. با توجه به قطر کاغذها که مطابق استاندارد ملی ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد و هدف تهیه کاغذهای با گرماژ ۸۰ مورد نظر بود، مقدار ۲/۵ گرم خمیر (جرم خشک) برای تهیه سوسپانسیون‌های کاغذسازی توزین شد. با توجه به وزن کل مواد تشکیل‌دهنده سوسپانسیون کاغذسازی (شامل الیاف کاغذسازی و افزودنی‌های شیمیایی) با اضافه‌کردن افزودنی‌های مورد نظر شامل کربوکسی متیل‌سلولز (CMC) و پلی‌آمینوآمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) و افزودن آب به سوسپانسیون‌های کاغذسازی با حجم معین آماده گردیده و نمونه‌های کاغذ دست‌ساز به وسیله دستگاه کاغذ دست‌ساز به منظور بررسی ویژگی‌های مقاومتی تهیه شدند.

ویژگی‌های مکانیکی مورد بررسی

آزمون مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن نمونه‌ها توسط دستگاه L&W Tensile Tester مطابق با استاندارد ملی ایران انجام شد (جدول ۲).

جدول ۲- تعیین ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز بر طبق استانداردهای زیر

ویژگی‌ها	شماره استاندارد ملی ایران
مقاومت به کشش خشک	۱۸۲۱
مقاومت به کشش تر	۳۰۷۰
اندیس مقاومت ترکیدن خشک	۸۲۷۳
اندیس مقاومت ترکیدن تر	۱۵۴۳

طرح آماری

در این تحقیق آنالیز داده‌ها با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در قالب آزمون فاکتوریل، شامل دو متغیر سطح وزنی PAE (در ۳ سطح) و CMC (در ٤ سطح) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین گروه‌بندی میانگین‌ها توسط آزمون دانکن انجام شد.

نتایج

شاخص مقاومت کششی خشک

نتایج آنالیز واریانس در جدول شماره ۳ نشان داد که تأثیر مستقل سطوح مختلف PAE و CMC بر شاخص مقاومت کششی خشک نمونه‌های آزمونی با سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است.

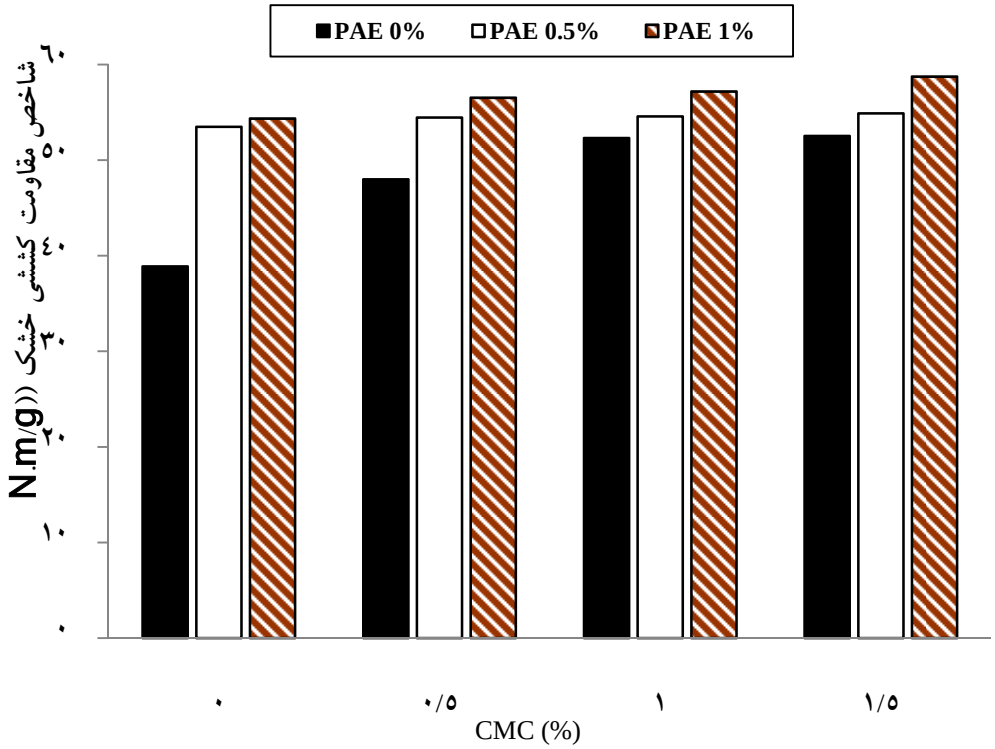
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مستقل PAE و CMC بر شاخص مقاومت کششی خشک

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F (آماره آزمون)	معنی‌داری
PAE	۲	٤۱۲٦۸/٤۰۷	۲۰٦۳٤/۲۰٤	۱۱۷/۰۳۳	۰/۰۰۰**
CMC	۳	٥٤۱۸/۸٦۱	۱۸۰٦/۲۸۷	۱۰/۲٥٤	۰/۰۰۰**
خطا	۲٤	٤۲۳۱/٤٦۷	۱۷٦/۳۱۱		
کل	۲۹	۱۳۰۷۱۲/٦۷۲			

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

با توجه به شکل مشخص است که استفاده از سطوح مختلف PAE و CMC موجب بهبود شاخص مقاومت کششی خشک نمونه‌های آزمونی شده است و با افزایش سطوح مختلف این مواد، مقاومت‌ها افزایش پیدا می‌کنند.

همچنین گروه‌بندی سطوح مختلف مواد شیمیایی در شکل ۱۰ مشخص است. البته بیشترین میزان تفاوت در تیمارهای مختلف در تیمار شاهد و تیمار با ترکیب ۱/۵ درصد CMC و ۱ درصد PAE بدست آمد، که با توجه به میزان مقاومت بدست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب حداکثر افزودنی‌ها منجر به افزایش حداکثر شاخص مقاومت کششی خشک شده است (شکل ۱).



شکل ۱- میزان شاخص مقاومت کششی خشک نمونه‌های آزمونی در سطوح مختلف PAE و CMC

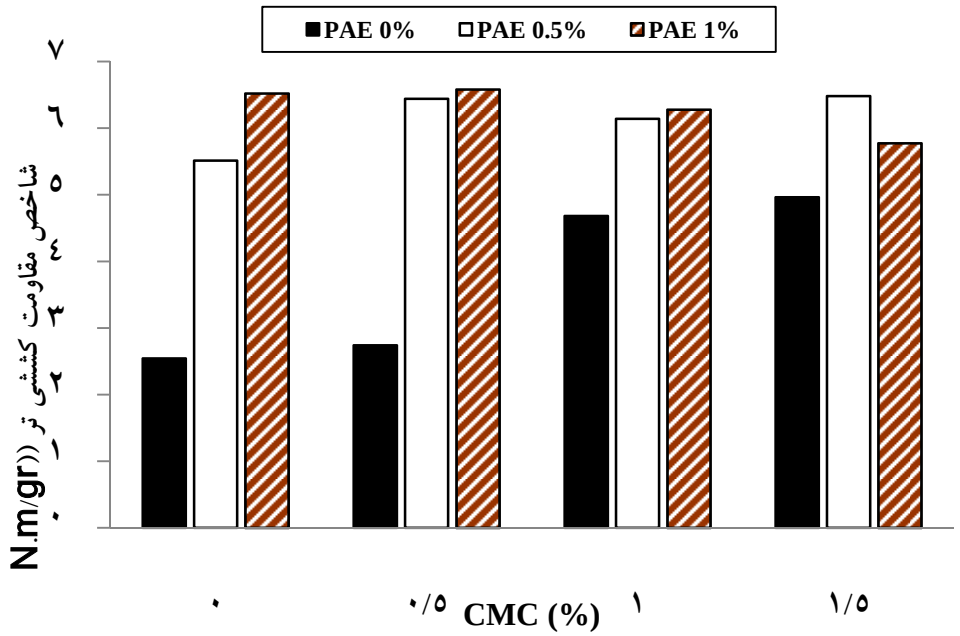
شاخص مقاومت کششی‌تر

با توجه به اطلاعات جدول تجزیه واریانس، می‌توان نتیجه گرفت که بین مقادیر شاخص مقاومت کششی در حالت تر سطوح مختلف PAE و CMC با سطح اطمینان ۹۹ درصد از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ٤). همچنین شکل ۲ گروه‌بندی سطوح PAE و CMC را در میزان شاخص مقاومت کششی‌تر نمونه‌های آزمونی با آزمون مقایسه میانگین دانکن نشان می‌دهد.

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر مستقل متغیرهای PAE و CMC بر شاخص مقاومت کششی‌تر

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F (آماره آزمون)	معنی‌داری
PAE	۲	٦٩٩٥/٠٣٠	٣٤٩٧/٥١٥	٣٦٥/٣٤٦	٠/٠٠٠**
CMC	۳	٦٥٩/٥٦٥	٢١٩/٥٨٨	٢٢/٩٦٦	٠/٠٠٠**
خطا	٢٤	٢٢٩/٧٥٦	٩/٥٧٣		
کل	٢٩	٩٦٩٢/٥٨٢			

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد



شکل ۲- میزان شاخص مقاومت کششی‌تر نمونه‌های آزمونی در سطوح مختلف PAE و CMC

مقاومت کششی درحالت تر، یکی از ویژگی‌های مهّم کیفی است. به گونه‌ای که دستمال کاغذی بتواند در حالت مرطوب شکل خود را حفظ کرده و به سرعت متلاشی نشود. از لحاظ مقاومت کششی در حالت تر، روند کلی به‌تقریب مشابه مقاومت خشک می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده است با افزایش سطوح PAE و

CMC میزان شاخص مقاومت کششی‌تر نمونه‌های آزمونی افزایش یافتند. البته بیشترین میزان مقاومت‌ها در سطح ۱ درصدی PAE و سطح ۱/۵ CMC حاصل شد و کمترین میزان در نمونه‌های شاهد بدست آمد.

گروه‌بندی دانکن نیز نشان داد که تیمارهای شماره ۳ (ترکیب ۱/۵ درصدی PAE) با تیمارهای شماره ٦ (ترکیب ۱/۵ درصدی PAE و ۰/۵ درصدی CMC) و تیمار شماره ۱۱ (ترکیب ۱/۵ درصدی PAE و ۱/۵ درصدی CMC) تفاوتی نداشته و هر سه با بیشترین میزان مقاومت در گروه a قرار دارند، با توجه به این گروه‌بندی، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از ترکیب تیمار شماره ۳ به لحاظ اقتصادی نسبت به دو ترکیب دیگر مقرون به صرفه‌تر می‌باشد.

شاخص مقاومت به ترکیدن خشک

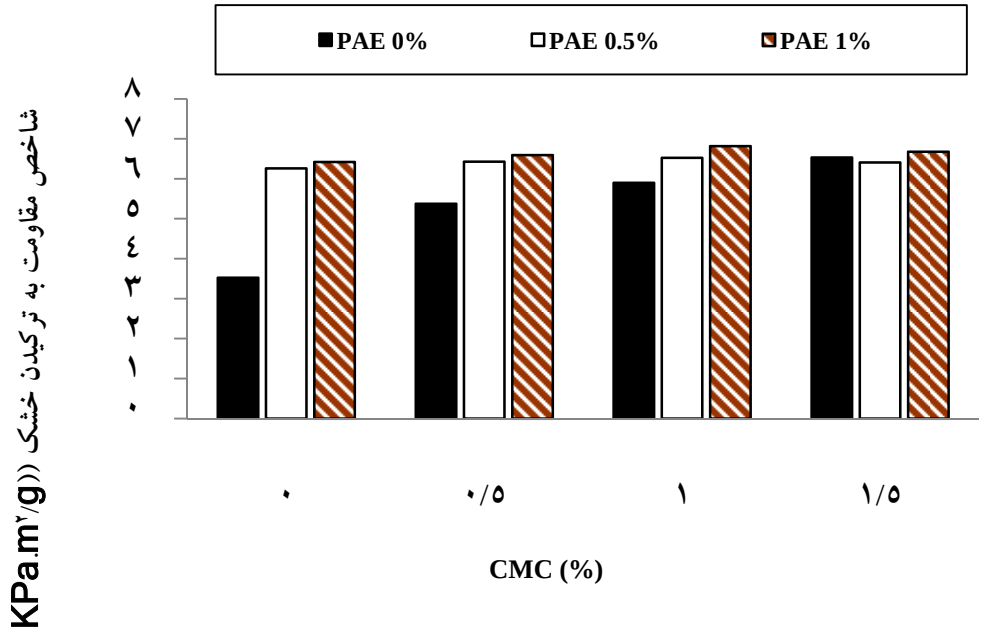
نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف PAE و CMC وجود دارد (جدول ۵). همچنین براساس آزمون مقایسه میانگین دانکن سطوح PAE و CMC به لحاظ شاخص مقاومت به ترکیدن خشک در سه گروه مختلف قرار گرفتند (شکل ۳).

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر مستقل متغیرهای PAE و CMC بر میزان شاخص مقاومت به ترکیدن خشک

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F (آماره آزمون)	معنی‌داری
PAE	۲	۱۱/٦۳۰	۵/۸۱۵	۱۱۲/۰۱۷	۰/۰۰۰**
CMC	۳	۷/۰۲۲	۲/۳٤۱	٤۵/۰۸۹	۰/۰۰۰**
خطا	۲٤	۱/۲٤٦	۰/۰۵۲		
کل	۲۹	۲۸/۳۷۱			

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش درصد وزنی سطوح مختلف PAE و CMC میزان شاخص مقاومت به ترکیدن نمونه‌های آزمونی افزایش یافته است. به‌طورکلی بیشترین میزان شاخص مقاومت به ترکیدن خشک در ترکیب سطح یک درصدی CMC و ۱/۵ درصدی PAE بدست آمد که برابر عددی (KPa.m^2/gr)٦/۸۲ بود. همچنین کمترین میزان شاخص مقاومت به ترکیدن خشک نمونه‌های آزمونی برابر با (KPa.m^2/gr)۳/۵ بود که در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۳). گروه‌بندی دانکن بیشترین مقاومت‌ها را در تیمار شماره ٦ (ترکیب ۱/۵ درصدی PAE و ۰/۵ درصدی CMC)، تیمار شماره ۹ (ترکیب ۱/۵ درصدی PAE و ۱ درصدی CMC) و تیمار شماره ۱۲ (ترکیب ۱/۵ درصدی PAE و ۱/۵ درصدی CMC) نشان داد.



شکل ۳- میزان شاخص مقاومت به ترکیدن خشک نمونه‌های آزمونی در سطوح مختلف PAE و CMC

شاخص مقاومت به ترکیدن تر

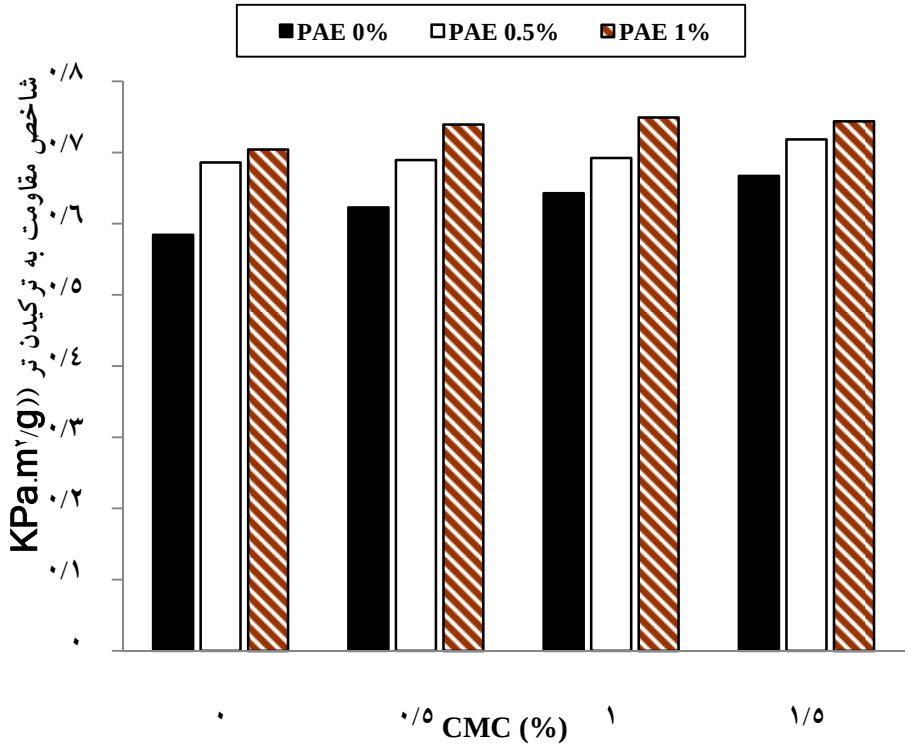
با بررسی نتایج حاصل از آزمون‌های تجزیهٔ واریانس و نتایج حاصل از شکل ٤ مشاهده می‌شود که تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدن در سطوح مختلف PAE وCMC دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ٦). همچنین مشخص گردید که با افزایش درصد وزنی مواد افزودنی، شاخص مقاومت به ترکیدن در کاغذهای ساخته شده افزایش پیدا کرد. گروه‌بندی دانکن نیز سطوح مختلف PAE را در سه گروه مختلف و سطوح مختلف CMC را در چهار گروه قرار داد (شکل ۳).

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر مستقل متغیرهای PAE و CMC بر میزان شاخص مقاومت به ترکیدن تر

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F (آماره آزمون)	معنی‌داری
PAE	۲	۰/۰٦۸	۰/۰۳٤	٦۲/۷۳۰	۰/۰۰۰**
CMC	۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰٤	۷/۸٤٤	۰/۰۰۰**
خطا	۲٤	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱		
کل	۲۹	۰/۰۹۸			

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

شکل ٤ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان شاخص مقاومت به ترکیدن تر نمونه‌های آزمونی به‌ترتیب برابر با ۰/۷٤ و ۰/۵۸ ($KPa.m^2/g$) می‌باشد.



شکل ٤- میزان شاخص مقاومت به ترکیدن تر نمونه‌های آزمونی در سطوح مختلف PAE و CMC

بحث

در این پژوهش، اثر درصدهای مختلف کربوکسی متیل‌سلولز (CMC) و پلی‌آمینوآمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از این مواد شیمیایی سبب بهبود مقاومت‌های خشک و تر نمونه‌های آزمونی می‌گردد و با افزایش درصد وزنی آنها، مقاومت‌ها افزایش می‌یابد. نتایج Obokata and Isogai (۲۰۰۷)، نیز نشان داد که شاخص مقاومت کششی‌تر ورق‌های حاوی PAE به طور آشکاری بهبود می‌یابد. همچنین نتایج دیگری نشان داد که افزایش جرم‌مولکولی PAE به خوبی در ارتباط با افزایش مقاومت تر کاغذهای دست‌ساز می‌باشد که این امر نشان می‌دهد که جرم مولکولی PAE، تأثیر شگرفی بر عملکرد مقاومت تر حاصل به هنگام استفاده از یک افزودنی در کاغذسازی دارد (Obokata and Isogai, 2005). نتایج حاصل با نتایج Su و همکاران (۲۰۱۲)، Khampan و همکاران (۲۰۱۰) و Blomstedt *et al.* (۲۰۰۷) از نظر روند افزایش مقاومت‌ها هم‌خوانی داشتند. در رابطه با PAE، Obokata and Isogai (۲۰۰۷) و Braga و همکاران (۲۰۰۹) بیان داشتند که هم شبکه‌ای شدن و شبکه‌ای شدن یکنواخت باعث ایجاد مقاومت در کاغذ می‌شوند. با وجود این، دو گروه محققان فوق، سازوکارهای متفاوتی را گزارش کرده‌اند. Obokata and Isogai (۲۰۰۷) توضیح دادند که گروه‌های آزتیدینیوم مربوط به PAE، با گروه کربوکسیل الیاف پیوند استری تشکیل می‌دهند که هم شبکه‌ای شدن (co-cross linking- اتصال لیف-پلیمر) نامیده می‌شود، و گروه

کربوکسیل در انتهای PAE و گروه آزتیدینیوم مربوط به PAE پیوند استری تشکیل می‌دهد که شبکه‌ای شدن یکنواخت (Homo-cross linking) نامیده می‌شود. از سوی دیگر، Braga و همکاران (۲۰۰۹)، واکنش گروه‌های آزتیدینیوم با گروه کربوکسیل را به‌عنوان هم‌شبکه‌ای شدن، و واکنش گروه‌های آزتیدینیوم با آمین‌های ثانویه را به‌عنوان شبکه‌ای شدن یکنواخت ارائه نمودند. در واقع از آنجایی که PAE یک پلیمر به شدت شبکه‌ای دارای زنجیرهای پلی‌آمیدآمین و پل‌های ۲- هیدروکسی پروپان می‌باشد. گروه‌های کربوکسیل مولکول‌های PAE می‌توانند با برهم‌کنش‌های الکترواستاتیکی موقعیت‌هایی برای تشکیل اتصال یونی با محل‌های کاتیونی دیگر مولکول‌های PAE فراهم کرده و در نتیجه کمپلکس چندیونی PAE بزرگی تشکیل می‌شود که می‌توانند در ماتریس‌های لیف سلولزی نوارهای تر کاغذ در طی فرایند فیلتراسیون (آبگیری) ساخت ورق به دام بیفتند. تشکیل پیوند استری بین گروه‌های آزتیدینیوم PAE و گروه‌های کربوکسیل الیاف سلولزی، قطعاً یکی از عوامل قابل قبول برای توضیح بهبود مقاومت تر کاغذهای حاوی PAE می‌باشد. همان گونه که قبلاً گفته شد، به علّت اینکه هر مولکول PAE دارای گروه‌های کربوکسیل در انتهای زنجیرهای پلی‌آمیدآمین می‌باشد، تشکیل پیوند استری بین مولکولی و درون مولکولی تا PAE بیشتر شبکه‌ای شده یا PAE دارای مقادیر جرم مولکولی بالاتر در کاغذهای ساخته محتمل است (Obokata and Isogai, 2007). عملکرد رزین PAE به شدت تحت تأثیر فعالیت آنیونی بودن سطوح الیاف می‌باشد. به همین سبب استفاده از سطوح بالای PAE به‌عنوان عامل مقاومت تر به هنگام استفاده از خمیرهای پربازده آسانتر است. راهبرد دیگر برای افزایش ویژگی آنیونی الیاف این است که PAE در شرایط کاغذسازی قلیایی که گروه‌های کربوکسیل الیاف اغلب آشکارتر هستند افزوده شوند.

در ارتباط با چگونگی تأثیر CMC بر خصوصیات مکانیکی می‌توان بدین اشاره کرد که CMC در شرایط تر می‌تواند پیوند هیدروژنی با مولکول‌های آب که نسبت به سلولز فراوان‌تر هستند تشکیل دهد، که تعداد پیوندهای فیبر- فیبر ایجادشده در حالت خشک را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر افزایش مقاومت‌ها در حضور CMC را می‌توان به تقویت پیوند بین فیبری به سبب جذب CMC نسبت داد (Kontturi et al., 2008). همچنین به نظر می‌رسد یکی دیگر از تأثیرهای CMC بر ساختار ورق کاغذ این است که فاصله بین الیاف توسط آنها پرشده و همزمان متراکم‌کننده ورق و بهبوددهنده پیوند بین الیاف می‌باشند. Laine و همکاران (۲۰۰۳)، در رابطه با افزودن CMC بیان کردند که این افزودن دارای یک تأثیر جزئی بر دانسیته کاغذ می‌باشد که تأییدکننده این موضوع است که بهبود مقاومت عمدتاً به سبب افزایش بار سطحی می‌باشد که پیوند فیبر- فیبر را تقویت می‌کند. در مقابل، Mitikka-Eklund و همکاران (۱۹۹۹)، بیان کردند که افزودن CMC دارای یک اثر افزایشی بر دانسیته می‌باشد که می‌توان این گونه دریافت که علاوه بر افزایش بار سطحی، انعطاف‌پذیری الیاف را افزایش داده و افزودن CMC همچنین بر تعداد پیوندهای فیبر- فیبر تأثیر مثبت دارد.

منابع مورد استفاده

- اختراع، م.ح.؛ خسروانی،ا.؛جهان‌لتیباری،ا. و طلایی‌پور،م.، ۱۳۸۸. بررسی و ارزیابی مقایسه‌ای کیفیت دستمال کاغذی-های داخلی و وارداتی و راهکارهای ارتقاء آن. نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب،مجله منابع طبیعی ایران،دوره٦٢،شماره ۱. ۱۰-۱.
- عزیزی، م. و شهریاری، ن. ۱۳۸۷. تعیین شاخص‌های تأمین ماده اولیه کارخانه‌های دستمال کاغذی کشور با استفاده از ساختار BOCR. اولین همایش ملی تأمین مواد اولیه و توسعه صنایع چوب و کاغذ کشور. ۱۸-۱.
- همزه، ی. و رستم‌پور هفتخوانی، ا. ۱۳۸۹. اصول شیمی کاغذسازی. انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ٤٢٤.

-Blomstedt, M. Vuorinen, T. 2007. Modifi cation of softwood kraft pulp with carboxymethyl cellulose and cationic surfactants, J Wood Sci. (53) 223–228.

-Braga, D. Kramer, G. Pelzer, R. Halko, M. 2009. Recent Development in Wet Strength Chemistry Targeting High Performance and Ambitious Environment Goals. Chemical Technology, pp.30-34.

-Devore, D.I.Fischer, S.A. 1993. Wet-strength mechanism of Polyaminoamide-epichlorohydrin resins, Tappi Journal. Vol. 76(8).p. 121-128.

-Fatehi, P. Kititerakun, R. Ni, Y. Xiao, H. 2010. Synergy of CMC and modified chitosan on strength properties of cellulosic fiber network. Carbohydrate Polymers. 80. 208–214.

-Fischer, S. A. 1996. Structure and wet strength activity of Polyaminoamide epichlorohydrin resins having azetidinium functionality. Tappi Journal. Vol. 79, No. 11

-Gardlund, L. Wagberg, L. Gernandt, R. 2003. Polyelectrolyte complexes for surface modification of wood fibres; II. Influence of complexes on wet and dry strength of paper. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 218. 137-149.

-Giri, M., Simonsen Willie, J. &Rochefort, E., 2000. "Dispersion of pulp slurries using carboxymethyl cellulose", TAPPI Journal.

-Holik, He. 1995. The mechanism of wet- strength development in paper: a review, Tappi Journal. Vol. 78, No. 4. 90-99.

-Hubbe , www4.ncsu.edu/~hubbe/PAAE.htm

-Khampan, T., Thavarungkul, N., Tiansuwan, J., Kamthai, S. 2010. Wet Strength Improvement of Pineapple Leaf Paper for Evaporative Cooling Pad, World Academy of Science, Engineering and Technology (72). 254-257.

-Kontturi, E. Mitikka-Eklund, M. Vourinen, T. 2008. Strength Enhancement of Fiber Network by Carboxymethyl Cellulose during Oxygen Delignification of Kraft Pulp. BioRes. 3(1), 34-45.

-Laine, J., Lindstrom, T., Bremberg, C. Nordmark, G. G. 2003. Studies in topochemical modification of cellulosic fibres Part 5. Comparison of the effects of surface and bulk chemical modification and beating of pulp on paper properties. Nordic Pulp Paper Res. J. 18 (3), 325-332.

-Mitikka-Eklund, M. Halttunen, M. Melander, M. Ruuttunen, K. Vuorinen, T. (1999). 10th, International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, Yokohama, Japan, Vol. 1, pp, 432-439.

–Obokata, T. Isogai, A. 2007. The mechanism of wet-strength development of cellulose sheets prepared with polyamideamine-epichlorohydrin (PAE) resin. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 302, 525–531.

-Obokata, T. Yanagisawa, M. Isogai, A. 2005. Characterization of Polyamideamine-Epichlorohydrin (PAE) Resin: Roles of Azetidinium Groups and Molecular Mass of PAE in Wet Strength Development of Paper Prepared with PAE.Journal of Applied Polymer Science. Vol. 97, 2249–2255.

-Su, J. Mosse, W. J. J. Sharman, S. Batchelor, W. Garnier, G. 2012. Paper strength development and recyclability with polyamideamine-epichlorohydrin (PAE), BioRes. 7(1), 913-924

Investigation on the effect of using PAE and CMC dual system on dry and wet strength properties of tissue papers

Behzadi, F.[1*], Sepidehdam, S.M.J.[2], Jahan Latibari, A. [3] and Khakifirooz, A.R.[4]

1-*Corresponding author M.Sc. Student, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, E mail: farahnazbehzadi@yahoo.com
2-Assistant Prof, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch Islamic Azad University Karaj Branch, Karaj, Iran
3- Prof. Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch Islamic Azad University Karaj Branch, Karaj, Iran
4- Assistant Prof. Iran Standard and Industrial Research Organization, Karaj, Iran

Received: Aug., 2012 Accepted: Aug., 2013

Abstract

The objective of this research was to investigate the combined effect of polyaminoamide-epichlorohydrin (PAE) and carboxymethyl cellulose (CMC) on the mechanical properties of tissue paper made from virgin pulp. Three levels of CMC (0%, 0.5%, 1%, and 1.5%), and three levels of PAE (0%, 0.5%, and 1%) based on the dry weight of the fibers were used. A mixture of 60% short fiber and 40% long fiber pulps was formed by mixing bleached softwood and bleached hardwood pulps provided by Latif tissue making plant and the chemicals were added. Then 80 g/m^2 laboratory hand sheets were prepared. All samples were placed in oven at 100±5 °C and also conditioned (23±1°C and 50±2% relative humidity) for 24 hours prior to testing. Strength properties (wet and dry tensile, wet and dry burst) of the hand sheets were measured. Results indicated that treating of pulps with both CMC and PAE as additives leads to enhancement of the mechanical properties of the paper sheets and higher dosages of CMC and PAE, improved all strength properties.

Key words: Tissue paper, PAE, CMC, tensile, burst.