

استفاده از پلی آمیدو آمین اپی کلروهیدرین به همراه نانوالیاف سلولزی و کربوکسی متیل سلولز برای بهبود مقاومت کششی تر لیوان کاغذی

چکیده

امروزه با معرفی مواد افزودنی جدید و نانوساختارها، تحقیقات در زمینه بهبود ویژگی‌های کاغذ به‌طور گسترده در جریان است که با هدف کاهش هزینه‌ها و دستیابی به خواص مناسب‌تر انجام می‌شود. یکی از موادی که برای بهبود مقاومت تر کاغذ استفاده می‌شود پلی آمیدو آمین اپی کلروهیدرین (PAE) است که استفاده از مقادیر زیاد آن علاوه بر اینکه از نظر اقتصادی به صرفه نیست می‌تواند مشکلاتی سیستمی نظیر چسبندگی را ایجاد کند. به همین منظور جهت کاهش مصرف این ماده و بهبود مقاومت تر کاغذ ساخته شده از باگاس در این تحقیق از مواد کمکی مانند نانوالیاف سلولز (CNF) و کربوکسی متیل سلولز (CMC) استفاده شده و بهترین تیمارها که بیشترین مقاومت تر را داشته‌اند معرفی شده‌اند. برای اندازه‌گیری مقاومت تر، ابتدا کاغذهای دست‌ساز به مدت ۱۰ دقیقه در آب مقطر ۲۵ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند و سپس آزمون کشش روی نمونه‌های کاغذ دست‌ساز صورت گرفت. در این تحقیق با بررسی ۳۰ تیمار با افزودن CNF، CMC و PAE به‌طور مجزا و ترکیبی مشخص شد که افزودن این مواد به‌صورت تکی تأثیر بسیار کمتری بر مقاومت کششی تر می‌گذارد اما افزودن CNF و CMC به همراه PAE باعث بهبود قابل توجهی در مقاومت کششی تر کاغذ می‌شود. یکی از بهترین تیمارها جهت دسترسی به شاخص مقاومت کششی تر بالا، ترکیب ۳ درصد PAE و ۲ درصد CMC است که باعث حفظ ۱۸ درصدی مقاومت تر کاغذ دست‌ساز نسبت به حالت خشک آن شده است ضمن اینکه چسبندگی ناشی از PAE بر روی توری کاغذسازی و جداره مخزن کاغذساز در این سطح مشاهده نشده است. همچنین ترکیب ۳ درصد PAE و ۱ درصد CMC سبب حفظ ۱۶ درصدی شاخص مقاومت خشک در حالت تر شده و همچنین نسبت به افزودن ۲ درصد CMC سبب افت کمتر درجه روانی شده است، بنابراین بهترین تیمار منتخب برای افزایش مقاومت کششی تر معرفی می‌شود.

واژگان کلیدی: CNF، PAE، CMC، کاغذسازی، مقاومت تر کاغذ.

مقدمه

تقویت مقاومت کششی تر کاغذ

کاغذ عامل اصلی تمدن بشر طی دو هزار سال گذشته بوده است و ارتباط بسیار نزدیک ما با این ماده سبب شده

است تا آن را ماده‌ای با پیچیدگی خاص ندانیم اما این تصور از حقیقت به دور است. گاهی در پایانه تر، بعضی از مواد افزودنی مانند بسپار طبیعی و مصنوعی به خمیر کاغذ

میشم خلیلیان شلمزاری^{۱*}
محمد هادی مرادیان^۲
پژمان رضایتی چرانی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ،
دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا (ص) بهبهان، ایران

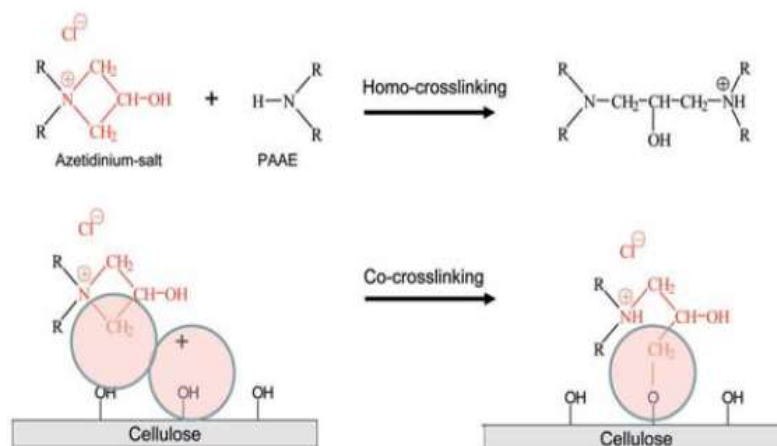
^۲ استادیار دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا (ص) بهبهان، ایران
^۳ استادیار دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیا (ص) بهبهان، ایران

مسئول مکاتبات:
meysam.t93@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۳۰

بطری، کاغذ اسکناس، کاغذدیواری و پوستر استفاده می‌شوند [۲]. ظروف یک‌بارمصرف بنا به موارد کاربرد می‌توانند به‌عنوان محصول واسطه‌ای یا مصرفی تلقی گردند در مواردی که این ظروف برای بسته‌بندی مربا، خامه، سرشیر، عسل، ماست و مصرف می‌شوند، جنبه محصول واسطه‌ای را دارند که در حمل بهداشتی و توزیع این‌گونه مواد غذایی دخیل می‌باشند و چنانچه از این ظروف بر روی میز غذا و یا اغذیه‌فروشی و رستوران‌ها به‌عنوان وسیله توزیع غذا، بستنی و نوشابه استفاده شود، جنبه کالای مصرفی را پیدا می‌کند. استفاده از ظروف یک‌بارمصرف مانند لیوان کاغذی برای نگهداری و عرضه مایعات ضروری است. یکی از موادی که برای بهبود مقاومت تر کاغذ استفاده می‌شود پلی‌آمیدوآمین اپی کلروهیدرین (PAE) است. به‌منظور ارائه مقاومت‌تر، رزین PAE باید در سطح الیاف کاغذ حفظ شود. مکانیسم اصلی این ماندگاری جاذبه یونی بین گروه‌های کربوکسیل آنیونی در سطح الیاف و گروه‌های کاتیونی آزتیدینیوم از رزین PAE است. پس از حفظ رزین PAE بر روی الیاف و تحکیم الیاف درون شبکه تر در بخش توری ماشین کاغذ، رزین‌ها مقاومت تر کاغذ را از طریق مکانیسم اتصال عرضی همگن و یا اتصال عرضی دوتایی به وجود می‌آورند [۲].

اضافه می‌شود تا خواص فیزیکی کاغذ را بهبود دهند. افزودنی‌های مؤثر بر مقاومت درونی کاغذ شامل بسپارهای طبیعی (نشاسته تغییرنیافته، نشاسته تغییریافته و صمغ-ها)، مشتقات سلولز (کربوکسی متیل سلولز، همی سلولز) و بسپارهای سنتزی (بسپارهای فنولی، پلی‌آمین‌ها، پلی-اکریل‌آمیدها، رزین اوره فرمالدهید، رزین ملامین-فرمالدهید، پلی‌آمیدها) است که از این بین سه ترکیب آخر بسپارهای سنتزی عمدتاً برای حفظ مقاومت کاغذ تر به کار می‌روند [۱]. تقویت کاغذ در حالت تر یک نیاز مهم در صنعت کاغذ است، زیرا عوامل مقاومت تر امکان ساخت انواع درجات کاغذ و محصولات آن را فراهم می‌سازند. مهم‌ترین سطح کاربرد آن‌ها در تولید انواع کاغذهای بهداشتی از جمله ظروف یک‌بارمصرف، دستمال کاغذی دست و صورت، حوله آشپزخانه و دستمال سفره و سایر محصولات است [۲]. حوزه مهم دیگر از کاربرد عوامل مقاومت تر در بسته‌بندی مایعات خوراکی در کارتن آب‌میوه و شیر، کیسه‌های حامل و ساک‌های کاغذی، جعبه‌های مقوایی حمل‌ونقل میوه، گوشت و موارد دیگر است. همچنین عوامل مقاومت تر در مصارف ویژه مانند چای کیسه‌ای، فیلترهای آب و روغن و هوا، برچسب



شکل ۱- تیمار کاغذ با PAE در طی اتصال عرضی همگن و دوتایی [۳]

1-Polyamideamine epichlorohydrin
2-Azetidinium

در این تحقیق تلاش می‌شود با افزودن CMC و CNF ماندگاری و واکنش‌پذیری الیاف با PAE افزایش یابد که در نهایت موجب افزایش مقاومت تر کاغذ شود. در نهایت مقادیر بهینه هریک از این مواد تعیین شده است. لازم به ذکر است به دلیل مشکلاتی که استفاده بیشتر PAE در ساخت کاغذ به وجود می‌آورد [۱۳، ۱۴] در این تحقیق امکان استفاده از مواد کمکی مانند CMC و CNF برای افزایش بیشتر این شاخص ضمن استفاده محدود PAE نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این بررسی PAE به‌عنوان عامل مقاومت تر و CMC و CNF به‌عنوان یکنواخت کننده سوسپانسیون، افزاینده اتصالات بین لیفی و بهبود مقاومت تر کاغذ استفاده شد. در این تحقیق، خمیر کاغذ رنگ‌بری شده باگاس از کارخانه کاغذ پارس تهیه گردید. درجه روانی خمیر کاغذ مذکور ۴۴۰ میلی‌لیتر بود. نانوالیاف سلولزی تهیه شده به روش سوپر آسیاب از آلفاسولوز سوزنی‌برگان از شرکت تعاونی دانش‌بنیان نانو نوین بسپار تهیه شد. همچنین بسپار PAE با غلظت ۱۲/۵ درصد از شرکت محصولات کاغذی لطیف واقع در کرج تهیه شد. CMC مورد استفاده در این تحقیق از شرکت کره‌ای بانام تجاری دوکسان^۴ تهیه شد. سوسپانسیون CNF و CMC به ترتیب با غلظت ۰/۳ و ۰/۵ درصد از ماده اولیه که به ترتیب به صورت ژل و پودر سفیدرنگ بودند ضمن رقیق‌سازی با آب مقطر ساخته شد و در طول زمان استفاده با کمک مگنت در حال چرخش به صورت ملایم بود.

برای تهیه کاغذهای ترکیبی با افزودنی‌های مختلف ابتدا بسپار PAE، سپس CMC و در نهایت CNF به سوسپانسیون اضافه شد. بسیار متداول است که ابتدا پلی‌الکترولیت با جرم بالا به خمیر کاغذ رقیق اضافه شود و پس از اتصال به سطوح الیاف و تشکیل حلقه‌ها و دم‌های انتهایی مورد برش هیدرودینامیکی قرار گیرد سپس ذرات آنیونی ریز به سیستم افزوده شود [۱۵]. به این منظور، ابتدا PAE با خلوص ۱۲/۵ درصد به سوسپانسیون اضافه و

تحقیقات دیگر پژوهشگران نشان داده است که استفاده از کربوکسی متیل سلولز (CMC) در کنار PAE سبب تشکیل یک کمپلکس پلی‌الکترولیتی در سوسپانسیون خمیر کاغذ می‌شود که عاملی برای افزایش بیشتر مقاومت تر کاغذ نسبت به حالتی است که از PAE به صورت تنهایی استفاده شده است [۴]. کربوکسی متیل سلولز ابتدا در آلمان کشف شد و سپس در آمریکا و پس از آن در سایر کشورهای غربی گسترش یافت. این ماده به دو صورت صنعتی و غذایی استفاده می‌شود [۵].

کربوکسی متیل سلولز

اصلی‌ترین واکنش شیمیایی در تولید محصول کربوکسی متیل سلولز واکنش قلیایی نمودن سلولز با قلیا برای تولید سلولز قلیایی، سپس واکنش اتری نمودن سلولز قلیایی با منو کلرو استیک اسید است [۵]. استفاده از کربوکسی متیل سلولز در ساخت کاغذ سبب می‌شود پیوندهای ضعیف بین فیبریل‌های به هم متصل شده شکسته شود و پایداری الکترواستاتیکی در فیبریل‌ها ایجاد گردد. در واقع این مکانیسم سبب پراکنده‌تر شدن فیبریل‌ها در سطح الیاف شده در نتیجه سبب افزایش سطح اتصال بین الیاف می‌شود [۶]. از طرفی استفاده از کربوکسی متیل سلولز سبب یکنواختی سوسپانسیون خمیر کاغذ و بهبود عملکرد PAE می‌شود. علت آن نیز می‌تواند تشکیل کمپلکس بین پلیمرهای آنیونی CMC و کاتیونی PAE موجود در سوسپانسیون و افزایش جذب و ماندگاری مواد افزوده شده در سطح الیاف باشد [۷، ۸]. در این تحقیق امکان استفاده از مواد دیگر مانند نانوالیاف سلولزی (CNF)، برای افزایش شاخص مقاومت تر ضمن استفاده محدود PAE و همچنین مقایسه‌ای بین عملکرد این دو ماده در کنار استفاده از PAE نیز مورد بررسی قرار گرفته است. افزودن CNF و CMC همراه PAE باعث بهبود در شاخص مقاومت کششی تر کاغذ می‌شود که دلیل آن می‌تواند افزایش پیوندهای بین الیاف باشد به طوری که CNF مشابه CMC موجب افزایش جذب PAE و در نهایت بهبود بیشتر مقاومت کششی تر کاغذ می‌شود [۹، ۱۰].

5- Super Grinder
6- DUKSAN

3-Carboxymethyl cellulose
4-Cellulosic nanofibers

همچنین برای اندازه‌گیری آزمون کشش تر به روش اوبوکاتا و همکاران (۲۰۰۷) ابتدا کاغذهای دست‌ساز به مدت ۱۰ دقیقه در آب مقطر ۲۵ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شدند و سپس آزمون کشش روی نمونه‌های کاغذ دست‌ساز صورت گرفت [۱۲].

برای ارزیابی مقاومت تر در این تحقیق پس از انجام پیش تیمارهای اولیه از PAE در پنج سطح (۰،۱،۲،۳،۴) درصد، CMC در سه سطح (۰،۱،۲) درصد و CNF در دو سطح (۰،۳) درصد (همگی بر مبنای وزن خشک الیاف) هرکدام در ۶ تکرار کاغذ در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد (جدول ۱). توضیح اینکه با توجه به نتایج Braga و همکاران (۲۰۰۹)، مصرف PAE برای کاغذهای مختلف متفاوت است. مصرف حدود ۱ الی ۱/۵ درصد ویژه کنترل پارگی‌های هنگام چاپ در اثر خیس شدن با جوهر و موارد مشابه است و برای تأمین مقاومت تر نرمال رزین بین ۲ تا ۸ درصد استفاده می‌شود.

به مدت ۴ دقیقه با دستگاه همزن با ۲۰۰۰ دور در دقیقه هم زده شد. سپس سوسپانسیون تهیه‌شده از CMC (با غلظت ۰/۵ درصد) به سوسپانسیون اضافه شد و به مدت ۳ دقیقه با همان دور قبلی هم زده شد. درنهایت سوسپانسیون CNF (با درصد خشکی ۰/۳) که از قبل آماده شده بود، به مقدار لازم به سوسپانسیون خمیرکاغذ اضافه شد و به مدت ۳ دقیقه دیگر سوسپانسیون حاصل (با همان دور) هم زده شد. در ادامه مخلوط در داخل محفظه سیستم ساخت کاغذ دست‌ساز ریخته شد تا کاغذهای ۱۲۰ gr/m² ساخته شوند.

کلیه‌ی آزمایش‌ها طبق استانداردهای زیر از آیین‌نامه‌ی Tappi انجام شد.

ساخت کاغذهای دست‌ساز طبق استاندارد T 205 sp-

02

درجه روانی خمیرکاغذ طبق استاندارد T 227 om-04

ضخامت طبق استاندارد T411 om-05

گراماژ طبق استاندارد T410 om-02

جدول ۱- تیمارهای برگزیده برای آزمون مقاومت تر

نوع ماده افزودنی	سطوح تیمار (درصد مواد افزودنی)			
	۰	۱	۲	۳
PAE	۰	۱	۲	۳
CMC	۰	۱	۲	
CNF	۰	۳		

شاخص در تیمارهای موردبررسی دارد. بر طبق این نتایج، استفاده از ۳ درصد CNF نسبت به کاغذ شاهد حاوی ۱۰۰ درصد خمیر شیمیایی باگاس، شاخص مقاومت کششی تر به میزان ۲۸/۵ درصد افزایش یافته است. این میزان افزایش برای تیمارهای حاوی ۱ و ۲ درصد CMC به ترتیب ۲۱ و ۲۵ درصد به دست آمد که ناشی از افزایش سطح ویژه و سطح پیوند نانو ذرات و افزایش مقاومت ورق کاغذ پس از خشک شدن باشد که پس از تر شدن مجدد مقاومت خود را نسبت به نمونه شاهد بیشتر حفظ کرده است. در صورتی که با استفاده ترکیبی از CMC و CNF نسبت به نمونه شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد که علت آن می‌تواند ناشی از افزایش زیاد بار آنیونی و کاهش سهم الیاف در خمیرکاغذ باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده بهترین تیمار این بخش نسبت به شاهد تنها

نتایج و بحث

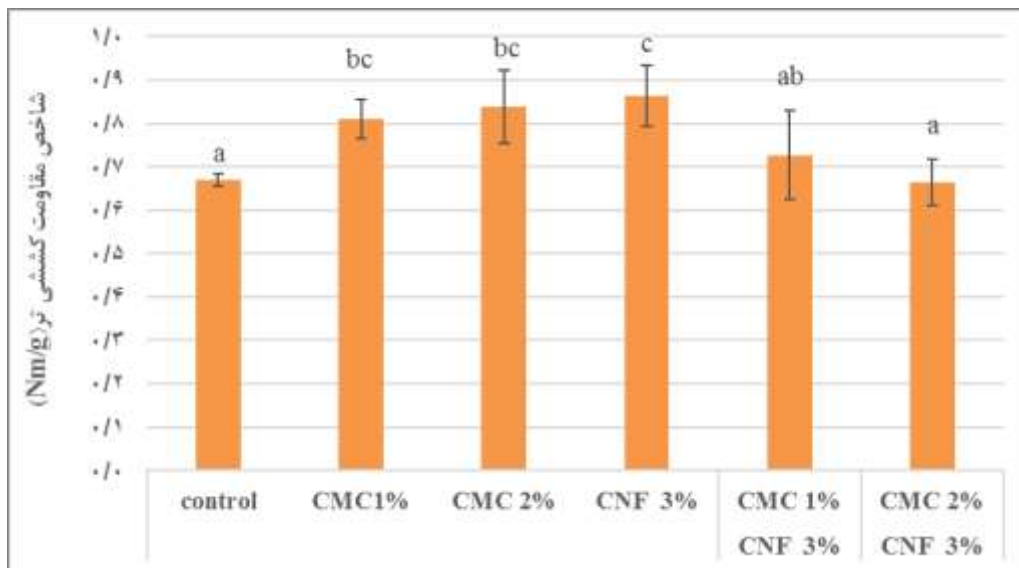
شاخص مقاومت کششی تر کاغذهای دست‌ساز

حاوی PAE، CNF و CMC

معمولاً شاخص مقاومت کششی تر خمیرکاغذ با افزودن PAE به خمیرکاغذ افزایش پیدا می‌کند. در این تحقیق به‌منظور افزایش شاخص مقاومت کششی تر کاغذ از ۳۰ تیمار با افزودنی‌های CNF، PAE و CMC در سطوح مختلف استفاده شد. برای بررسی آماری شاخص مقاومت کششی تر کل تیمارها در ۵ گروه مجزا موردبررسی قرار گرفت. در گروه اول ۵ تیمار و نمونه شاهد موردبررسی قرار گرفتند. با توجه به شکل ۲، گروه‌بندی دانکن میانگین‌های تأثیر افزودن CNF و CMC را به‌صورت جداگانه و ترکیبی در سه گروه مجزا (a,b,c) قرار داده است که دلالت بر اختلاف معنی‌دار تغییرات این

نیست؛ بنابراین استفاده از PAE در کنار CMC و هم-چنین CNF به عنوان مواد کمکی، شاخص مقاومت کششی تر خمیر کاغذ را نسبت به حالتی که از PAE به تنهایی در ساختار کاغذ استفاده شده باشد، افزایش می دهد.

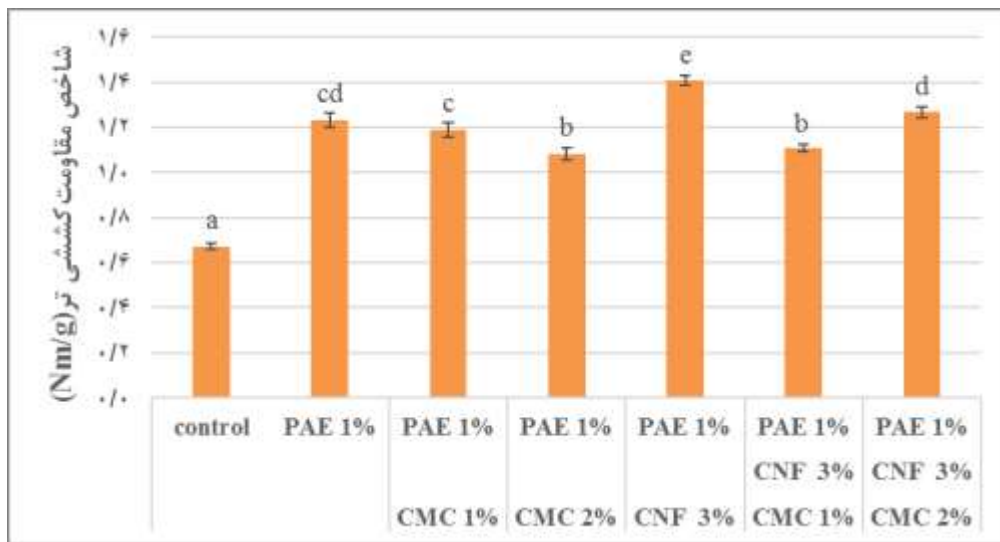
۲۸/۵ درصد افزایش مقاومت کشش تر ایجاد کرده است که تنها ۲ درصد از مقاومت خشک کاغذ شاهد (مقدار شاخص مقاومت کششی خشک ۳۹/۵ نیوتن متر بر گرم اندازه گیری شده است) را حفظ کرده که قابل توجهی



شکل ۲- تأثیر اختلاط CMC و CNF با خمیر کاغذ شیمیایی باگاس بر شاخص مقاومت کششی تر

که ۱ درصد PAE به صورت مجزا در ساخت کاغذ استفاده شده ۱۴/۵ درصد بیشتر رشد داشته است که این رشد نسبت به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد خمیر باگاس رشدی معادل ۱۱۰ درصد داشته است. ابوکاتا و ایسوغای^۱ در سال ۲۰۰۷ بهبود مقاومت کششی تر ورقه های کاغذ از الیاف سلولزی تیمار شده در محلول PAE به مدت ۱۰ ثانیه را به دلیل تشکیل پیوند کووالانسی گروه ازتیدینیوم از PAE و گروه کربوکسیل از الیاف سلولزی گزارش داده- اند [۱۲]. به طور کلی از این ۶ تیمار، تیمار استفاده از ۱ درصد PAE و ۳ درصد CNF بیشترین مقاومت کششی تر را داشت.

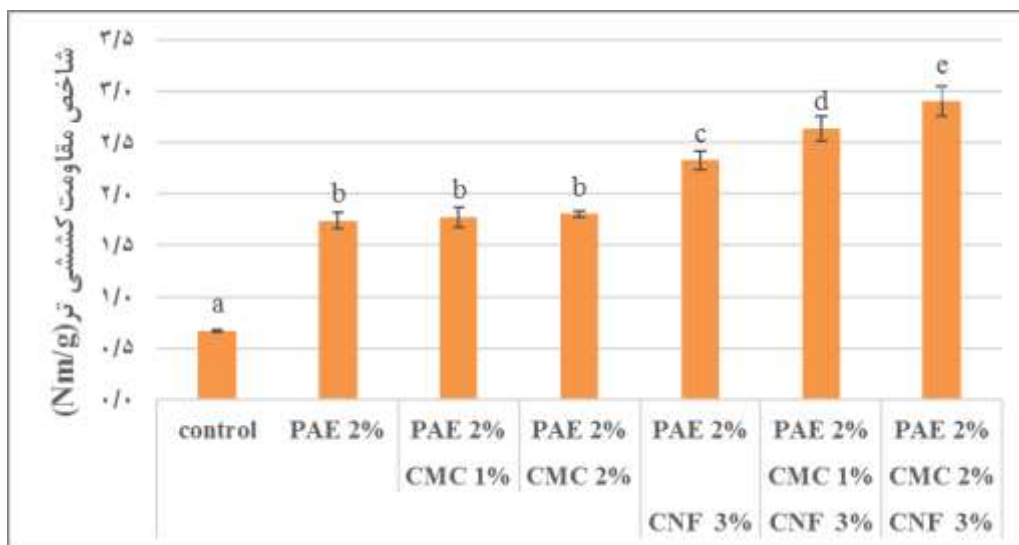
در گروه دوم، ۶ تیمار همراه نمونه شاهد مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به شکل ۳، گروه بندی دانکن میانگین های تأثیر افزودن PAE، CMC و CNF را به صورت جداگانه و ترکیبی در ۵ گروه مجزا (a,b,c,d,e) قرار داده است، که دلالت بر اختلاف معنی دار تغییرات این شاخص در تیمارهای مورد بررسی دارد. طبق این نتایج، به نظر می رسد استفاده از ۱ درصد PAE نسبت به کاغذ شاهد حاوی ۱۰۰ درصد خمیر شیمیایی باگاس، شاخص مقاومت کششی تر به میزان ۸۳/۵ درصد افزایش یافته است. بر اساس نتایج به دست آمده استفاده از ۳ درصد CNF و ۱ درصد PAE به صورت ترکیبی نسبت به حالتی



شکل ۳- تأثیر ۱ درصد PAE، ۱ و ۲ درصد CMC و ۳ درصد CNF بر شاخص مقاومت کششی تر

۳۴ درصدی داشته است. با افزودن CMC در دو سطح ۱ و ۲ درصد به عنوان ماده کمکی همراه PAE، در شاخص مقاومت کششی تر بهبود معنی داری مشاهده نشده است. با توجه به نتایج به دست آمده به نظر می رسد در سطوح ۱ و ۲ درصد PAE، CMC به عنوان یک ماده افزودنی کمکی کارایی لازم را نداشته است، در حالی که انتظار می رفت با افزودن CMC به خمیر کاغذ حاوی PAE شاخص مقاومت کششی رشد قابل توجهی داشته باشد. به این دلیل که افزودن CMC همراه PAE به دلیل افزایش پیوندهای بین الیاف باعث بهبود در شاخص مقاومت کششی تر کاغذ می شود [۱۰، ۱۲].

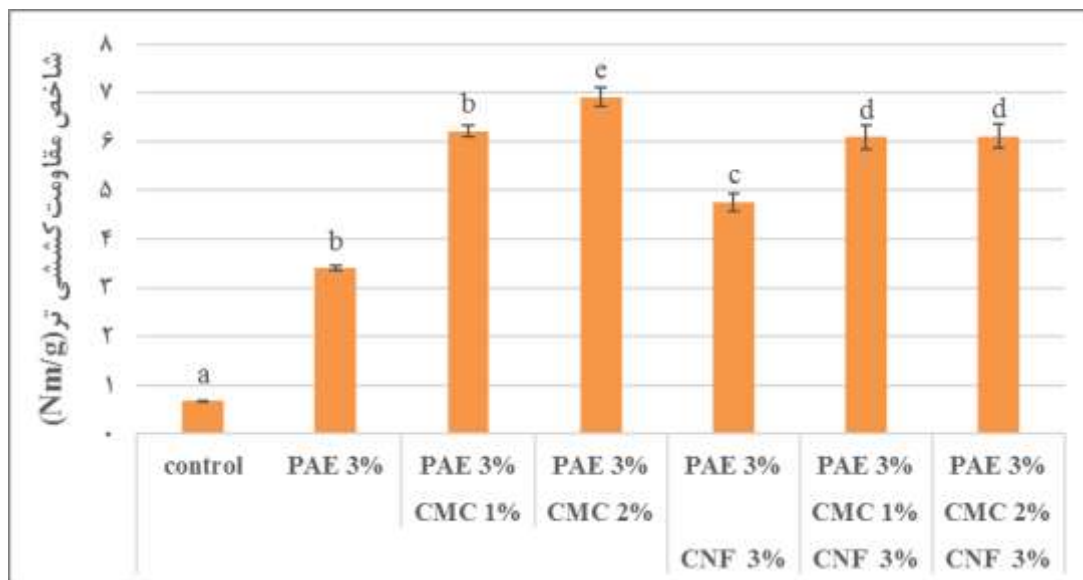
در گروه سوم نیز ۶ تیمار به همراه نمونه شاهد مورد بررسی قرار گرفتند، با این تفاوت که این بار تنها سطح PAE به ۲ درصد افزایش پیدا کرده است. با توجه به شکل ۴، گروه بندی دانکن میانگین های تأثیر افزودن PAE، CMC و CNF را به صورت جداگانه و ترکیبی در ۵ گروه مجزا (a,b,c,d,e) قرار داده است، که دلالت بر اختلاف معنی دار تغییرات این شاخص در تیمارهای مورد بررسی دارد. با افزایش PAE به ۲ درصد شاخص مقاومت کششی تر نسبت به ۱ درصد PAE رشدی ۴۱ درصدی داشته است. هنگام استفاده از ۳ درصد CNF همراه ۲ درصد PAE شاخص مقاومت کششی تر نسبت به حالتی که ۲ درصد PAE به تنهایی استفاده شده افزایش



شکل ۴- تأثیر ۲ درصد PAE، ۱ و ۲ درصد CMC و ۳ درصد CNF بر شاخص مقاومت کششی تر

که این رشد نسبت به شاخص مقاومت خشک (۳۹/۵) نیوتن متر بر گرم) معادل ۱۲ درصد است. به عبارتی در صورت استفاده از ترکیب ۳ درصد PAE و ۳ درصد CNF کاغذ حاصل در حالت تر تنها قادر به حفظ ۱۲ درصد از مقاومت آن در حالت خشک است. با مقایسه بین CNF و CMC به نظر می‌رسد که CMC ماده کمکی مناسب‌تری برای استفاده همراه PAE برای افزایش مقاومت تر کاغذ با غلظت‌های موجود است. نتایج نشان می‌دهد که افزودن CNF همراه PAE باعث بهبود در شاخص مقاومت کششی تر کاغذ می‌شود که دلیل آن می‌تواند افزایش پیوندهای بین الیاف باشد به طوری که CNF مشابه CMC موجب افزایش جذب PAE و در نهایت بهبود بیشتر مقاومت کششی تر کاغذ می‌شود [۱۰، ۱۲]. نتایج نشان داده است استفاده از CMC سبب یکنواختی سوسپانسیون خمیر کاغذ و پراکندگی اجزاء (برعکس کلوخه شدن) در نتیجه بهبود عملکرد PAE می‌شود. علت این بهبود نیز می‌تواند تشکیل کمپلکس بین بسپارهای آنیونی CMC و کاتیونی PAE موجود در سوسپانسیون و در نتیجه افزایش جذب و ماندگاری مواد افزوده شده در سطح الیاف و نرمه‌ها در ورقه باشد [۱۴].

در گروه چهارم ۶ تیمار همراه نمونه شاهد مورد بررسی قرار گرفتند، با این تفاوت که این بار تنها سطح PAE به ۳ درصد افزایش پیدا کرده است و همچنین شاخص مقاومت کششی تر با شاخص مقاومت کششی خشک که معادل ۳۹/۵ نیوتن متر بر گرم است مقایسه شده است. با توجه به شکل ۵، گروه‌بندی دانکن میانگین‌های تأثیر افزودن CMC، PAE و CNF را به صورت جداگانه و ترکیبی در ۵ گروه مجزا (a,b,c,d,e) قرار داده است که دلالت بر اختلاف معنی‌دار تغییرات این شاخص در تیمارهای مورد بررسی دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به نظر می‌رسد با افزایش PAE به سطح ۳ درصد شاخص مقاومت کششی تر نسبت به نمونه شاهد رشد چشم‌گیری معادل ۵ برابر داشته است که معادل ۸/۲ درصد مقاومت کششی حالت خشک است. در صورتی که کاغذ شاهد، تنها ۱/۷ درصد از مقاومت کششی در حالت خشک را حفظ می‌کند. افزودن به ترتیب ۱ و ۲ درصد CMC سوسپانسیون دارای ۳ درصد PAE به ترتیب سبب حفظ ۱۶ و ۱۸ درصد از مقاومت آن در حالت خشک می‌شود. در صورت استفاده از ۳ درصد PAE و ۳ درصد CNF شاخص مقاومت کششی تر نسبت به حالتی که ۳ درصد PAE به تنهایی استفاده شده است رشد معنی‌داری معادل ۴۰ درصد داشته است



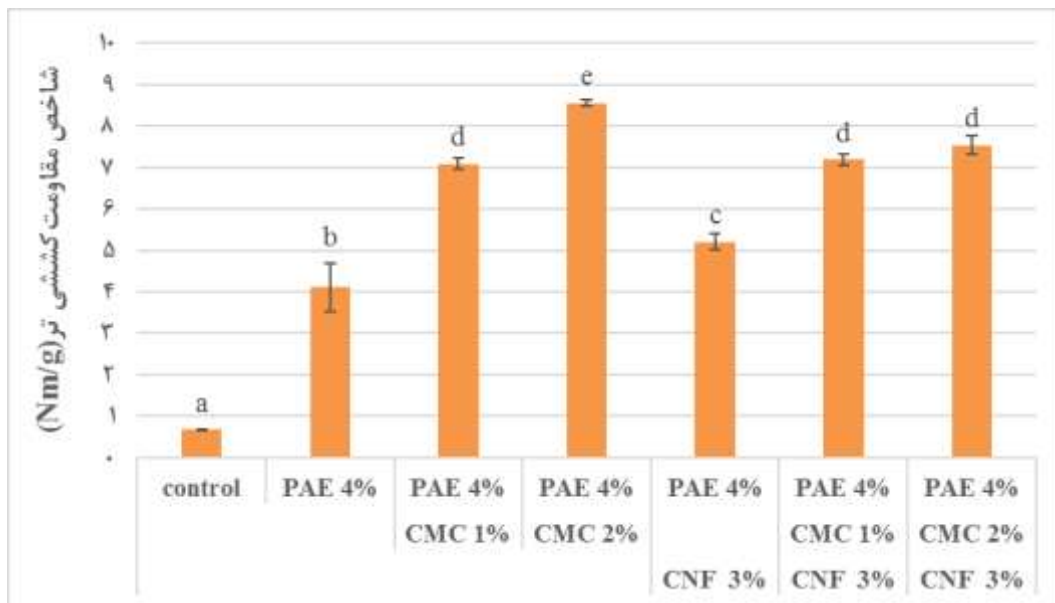
شکل ۵- تأثیر ۳ درصد PAE، ۱ و ۲ درصد CMC و ۳ درصد CNF بر شاخص مقاومت کششی تر

سطح PAE به ۴ درصد افزایش پیدا کرده است و هم-چنین شاخص مقاومت کششی تر با شاخص مقاومت

در گروه پنجم نیز ۶ تیمار همراه نمونه شاهد مورد بررسی قرار گرفتند، با این تفاوت که این بار تنها

کششی تر است ولی استفاده از مقادیر زیاد PAE (۴ درصد) چسبندگی ایجاد کرد؛ بنابراین می توان با استفاده از مواد کمکی نظیر CMC و CNF ضمن کاهش استفاده از PAE مشکلات سیستمی نظیر چسبندگی ناشی از مصرف مقادیر زیاد PAE را کاهش داد. در صورت استفاده از ۴ درصد PAE و ۳ درصد CNF شاخص مقاومت کششی تر نسبت به حالتی که ۴ درصد PAE به تنهایی استفاده شده است رشد معنی داری معادل ۱۸ درصد داشته است که این رشد نسبت به شاخص مقاومت خشک معادل ۱۳ درصد است. به عبارتی در صورت استفاده از ترکیب ۴ درصد PAE و ۳ درصد CNF کاغذ حاصل در حالت تر تنها قادر به حفظ ۱۳ درصد از مقاومت آن در حالت خشک است. با مقایسه بین CNF و CMC به نظر می رسد که CMC ماده کمکی مناسب تری جهت کاربرد با PAE در غلظت های مورد نظر است، به علاوه CNF امروزه ماده گران تری نسبت به CMC است.

کششی خشک که معادل ۳۹/۵ نیوتن متر بر گرم است مقایسه شده است. با توجه به شکل ۶، گروه بندی دانکن میانگین های تأثیر افزودن PAE، CMC و CNF را به صورت جداگانه و ترکیبی در ۶ گروه مجزا (a,b,c,d,e,g) قرار داده است، که دلالت بر اختلاف معنی دار تغییرات این شاخص در تیمارهای مورد بررسی دارد. همان طور که مشاهده می شود به نظر می رسد با افزایش PAE به سطح ۴ درصد شاخص مقاومت کششی تر نسبت به نمونه شاهد (۰/۷ نیوتن متر بر گرم) رشد چشم گیری معادل ۶/۷ برابر داشته است که معادل ۱۱/۵ درصد مقاومت کششی حالت خشک است. در صورتی که کاغذ حاصل دارای هیچ ماده افزودنی مقاومت تری نباشد تنها ۱/۷ درصد از مقاومت آن در حالت خشک را حفظ می کند. افزودن به ترتیب ۱ و ۲ درصد CMC سوسپانسیون دارای ۴ درصد PAE به ترتیب سبب حفظ ۱۸ و ۲۲ درصد از مقاومت آن در حالت خشک می شود که یک ترکیب ایده آل جهت بالابردن مقاومت



شکل ۶- تأثیر ۴ درصد PAE، ۱ و ۲ درصد CMC و ۳ درصد CNF بر شاخص مقاومت کششی تر

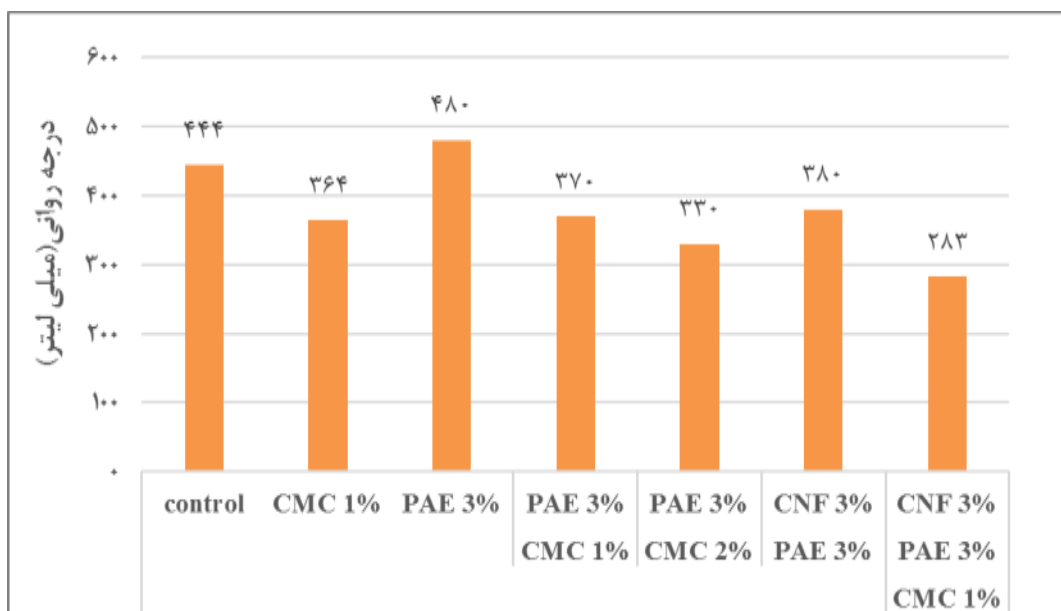
روانی افزایش می یابد. از آنجاکه صنعت به دنبال افزایش سرعت تولید با افزایش سرعت آبگیری از سوسپانسیون خمیر کاغذ بر روی توری کاغذسازی است لذا پیشنهاد می شود از ترکیب یک درصد CMC و سه درصد PAE در ساخت کاغذ استفاده شود چراکه علاوه بر افت اندک درجه روانی نسبت به نمونه شاهد، مقاومت تر مطلوبی نیز ایجاد

اثر PAE، CNF و CMC بر درجه روانی کاغذ

با افزودن CMC و CNF به خمیر کاغذ زهکشی کم می شود و درجه روانی نیز کاهش می یابد. ذرات ریز CNF و CMC زهکشی را سخت تر کردند در نتیجه درجه روانی کاهش یافت. PAE ذرات را به هم می چسباند سبب ایجاد کلوخه می شود در نتیجه زهکشی آسان تر می شود و درجه

CNF در مقایسه با CMC موجب افت بیشتر درجه روانی شده است.

کرده است. استفاده از مقادیر زیاد PAE همراه CMC و CNF سبب افت شدید درجه روانی می‌شود. از طرفی با توجه به نتایج به دست آمده (شکل ۷) مشخص شد که



شکل ۷- تأثیر اختلاط ۳ درصد PAE، ۱ و ۲ درصد CMC و ۳ درصد CNF با خمیر کاغذ شیمیایی با گاس بربر درجه روانی خمیر کاغذ

نتیجه‌گیری

روی توری و داخل مخزن کاغذساز در این سطح مشاهده نشده است بنابراین می‌تواند مناسب‌ترین ترکیب برای ارائه به صنعت باشد. با این وجود استفاده از ۱ درصد CMC به جای ۲ درصد آن با توجه به اختلاف جزئی در حفظ مقاومت تر (۱۶ درصد به جای ۱۸ درصد) می‌تواند ترکیب منتخبی باشد، چراکه افت کمتری از درجه روانی را نسبت به حالت قبل ایجاد می‌کند (شکل ۷). در مقایسه اثرات متقابل مثبت بین استفاده ترکیبی PAE با CNF و CMC نتایج گواه این است که اثرات متقابل مثبت بین PAE با CMC در صورت استفاده از PAE با درصدهای متفاوت، همواره بیشتر از اثرات متقابل مثبت بین استفاده ترکیبی PAE با ۳ درصد CNF در بهبود مقاومت تر کاغذ است. با توجه به مصرف خمیر کاغذ با گاس رنگبری شده و دستیابی به مقاومت تر مطلوب می‌توان برای استفاده در ساخت لیوان کاغذی توصیه کرد.

نتایج نشان داد که استفاده بیشتر از ۱/۵ درصد PAE (بر مبنای وزن خشک الیاف) می‌تواند موجب چسبندگی و یا عدم جذب مناسب به سطح الیاف سلولزی شود. در این صورت برای جذب بیشتر آن می‌توان از افزودنی‌های آنیونی بهره گرفت. در تحقیق حاضر با استفاده از CMC و CNF مشاهده شد که قابلیت جذب PAE در خمیر کاغذ با گاس رنگبری شده کارخانه پارس تا ۳٪ امکان‌پذیر بوده و موجب افزایش مقاومت به کشش تر قابل توجهی می‌شود ولی در ۴ درصد با بروز چسبندگی با مشکلات جدی مواجه گردید. به‌طور کلی در این تحقیق با توجه به مقادیر به دست آمده، ترکیب ۴ درصد PAE و ۲ درصد CMC بیشترین درصد افزایش شاخص مقاومت کششی تر را داشته است ولی به دلیل چسبندگی ناشی از مقدار زیاد PAE این ترکیب توصیه نمی‌شود. ترکیب ۳ درصد PAE و ۲ درصد CMC باعث حفظ ۱۸ درصدی مقاومت تر نسبت به حالت خشک آن (۳۹/۵ نیوتن متر بر گرم) شده است ضمن اینکه چسبندگی ناشی از PAE بر

- [1] Smook, Gary A., 1934, Translated by Seyyed Ahmad Mirshokraei., 2003, Pulp and Paper Technology, Aeej, Second Part. (In Persian).
- [2] Crisp, M.T., Riehle, R.J., 2009. Wet Strengthening of Paper in Neutral pH Papermaking Conditions, in: Thorn, I., Au, C.O. (Eds.), Applications of Wet-End Paper Chemistry. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 147-169.
- [3] Braga, D., Kramer, G., Pelzer, R. and Halko, M., 2009. Recent Developments in Wet Strength Chemistry Targeting High Performance and Ambitious Environmental Goals, Professional .Papermaking, 3-4: 30-34.
- [4] Gernandt, R., Wågberg, L., Gärdlund, L., Dautzenberg, H., 2003. Polyelectrolyte Complexes for Surface Modification of Wood Fibres: I. Preparation and Characterisation of Complexes for Dry and Wet Strength Improvement of Paper. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 213, 15-25.
- [5] Hasanoğrul., Nurhan, A., 2003. Production of Carboxymethyl Cellulose from Sugar Beet Pulp Cellulose and Rheological Behaviour of Carboxymethyl Cellulose. Carbohydrate Polymers, 54 (1): 73-82.
- [6] Mitikka-Eklund, M., Halttunen, M., Melander, M., Ruuttunen, K. and Vuorinen, T., 1999. Fibre engineering. 10th international symposium on wood and pulping chemistry, 1: 423-439.
- [7] Blomstedt, M., 2007. Modification of Cellulosic Fibers by Carboxymethyl Cellulose: Effects on Fiber and Sheet Properties. Helsinki University of Technology, Helsinki, Picaset, Finland, Oy, 90 p.
- [8] Behzadi, F. M., Sepidayedam, C., Jahan Latibari, A., Khaki Firouz, A., 1392. A Study of the Dual-Resistivity System for Flexible Paper Healthcare from Becker. Journal of Paper and Paper Research, 28(3): 451-452.(In persian).
- [9] Xhanari, K., Syverud, K. and Stenius, P., 2011. Emulsions Stabilized By Microfibrillated Cellulose: The Effect of Hydrophobization, Concentration. Dispersion Science and Technology, 32:447-452.
- [10] Rezayati Charani, P., Dehghani-Firouzabadi, M., Afra, E., Blademo, Å. Naderi, A., Lindström, T., 2013. Production of Microfibrillated Cellulose from Unbleached Kraft Pulp of Kenaf and Scotch Pine and Its Effect on the Properties of Hardwood Kraft: Microfibrillated Cellulose Paper. Cellulose, 20, 2559-2567.
- [11] Siqueira, E.J., Salon, M.-C.B., Belgacem, M.N., Mauret, E., 2015. Carboxymethylcellulose (CMC) as a model compound of cellulose fibers and polyamideamine epichlorohydrin (PAE)–CMC interactions as a model of PAE–fibers interactions of PAE-based wet strength papers. Journal of Applied Polymer Science, 132: 1-10.
- [12] Obokata, t. and isogai, a.,2007. the mechanism of wet-strength developmentof cellulose sheets prepared with polyamideamine–epichlorohydrin (pae)resin. colloids and surfaces a: physicochemical and engineering aspects, 302: 525–531.
- [13] Pelton, R., Ren, P., Liu, J. and Mijolovic, D., 2011. Polyvinylamine-graft-TEMPO adsorbs onto, oxidizes, and covalently bonds to wet cellulose. Biomacromolecules,12: 942– 948.
- [14] Pourmosa, S.and Yadollahi, R. Optimization of Polymerization of the Effect of Epichloride Resin of Chlorohedrin on the Production of Paper Products with Ink Desiccated Application of Permanent and Carboxymethyl Cellulose. Scientific Journal of Paper and Paper Research, 28(3): 497- 489.(In persian).
- [15] Jahan Latibari, A., Khosravani, A., Nabavi, S.M.H., Micro. and Nanoparticles in Papermaking, AEEIZH press, By Papermaking Additive Committee, Edited by Roddrigues, 201 p, (In Persian).

Improving wet tensile strength of paper glass using PAE, CNF and CMC

Abstract

Today, with the introduction of new additives and nanostructures, investigations have been widely focused on improving paper properties while decreasing costs. One of the paper wet strengths is Polyamideamine Epichlorohydrin (PAE) that using high amounts of it is costly and may cause some systemic problems such as adhesion. In order to reduce the consumption of this material and improve bagasse paper wet strength, cellulosic nanofibers (CNF) and carboxymethyl cellulose (CMC) were used and the best treatments with the highest wet strength introduced. To measure paper wet strength, first, handsheets were immersed in 25°C distilled water for 10 minutes, then tensile tests done. In this study, 30 treatments were evaluated including separate and combined addition of CNF, CMC and PAE. Results showed adding these materials separately has lower influence on wet tensile strength, while adding CNF and CMC together with PAE significantly improved wet tensile strength of handsheets. One of the best treatments with higher wet tensile index was the combination of 3% PAE and 2% CMC, which kept 18% of dry tensile index of paper in wet state, while no sign of adhesion of materials on paper handsheet maker screen and cylinder was observed. In addition, the combination of 3% PAE and 1% CMC kept 16% of dry tensile index of paper in wet state. This treatment decreased suspension freeness less than the former one. Thus, it is introduced as the best treatment which increases wet tensile strength.

Keywords: CMC, CNF, PAE, paper making, paper wet strength.

M. Khalilian Shalamzari^{1*}
M.H. Moradian²
P. Rezayati Charani³

¹ M.Sc. graduated, Department of wood and paper science and technology, Behbahan Khatam al Anbia university of Technology, Behbahan, Iran

² Assistant prof., Behbahan Khatam Alanbia university of technology, Behbahan, Iran

³ Assistant prof., Behbahan Khatam Alanbia university of technology, Behbahan, Iran

Corresponding author:
meysam.t93@gmail.com

Received: 2017/08/26
Accepted: 2017/11/21