

بررسی اثر افزودنی‌های مختلف بر ویژگی‌های کاغذ تهیه‌شده از آخال سفید

چکیده

به منظور مقایسه اثرهای مستقل و ترکیبی ۴ نوع افزودنی شامل نانوالیاف سلولزی، پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی، نشاسته کاتیونی و الیاف بلند وارداتی در ساخت کاغذ تهیه‌شده از آخال سفید این بررسی انجام شد. تیمارهای مستقل شامل افزودن ۱۵ درصد خمیر کاغذ الیاف بلند، ۳ درصد نانوالیاف سلولز، ۰/۷۵ درصد نشاسته کاتیونی و ۰/۰۷ درصد پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی بودند. تیمارهای ترکیبی شامل افزودن ابتدا ۰/۷۵ درصد نشاسته و ۳ درصد نانوالیاف سلولزی و نیز ۰/۰۷ درصد پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی و ۳ درصد نانوالیاف سلولزی بودند. کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی از ۷ ترکیب خمیر کاغذ ساخته شد و در نهایت خواص فیزیکی، مکانیکی و ساختار میکروسکوپی کاغذها بررسی شد. نتایج نشان داد با افزودن الیاف بلند وارداتی، نشاسته کاتیونی، پلی‌اکریل‌آمید و نانوالیاف سلولزی دانسیته کاغذهای دست‌ساز نسبت به شاهد کمی کاهش یافته است. بیشترین صافی سطح مربوط به تیمارهای ترکیبی نانوالیاف سلولزی است که می‌تواند موجب بهبود چاپ پذیری سطح کاغذ شود، اما افزایش مقاومت به عبور هوا و نیز کاهش قابلیت آبیگری ورقه کاغذ با افزودن نانوالیاف سلولزی، می‌تواند باعث بروز مشکلاتی در ماشین چاپ و ماشین کاغذ شود. میانگین شاخص مقاومت کششی، ترکیدن و پاره شدن کاغذهای دست‌ساز با افزودن ۱۵ درصد خمیر الیاف بلند بیشترین افزایش را داشته و پس‌از آن، استفاده از ۰/۷۵ درصد نشاسته کاتیونی به صورت مستقل موجب بهبود هر سه مقاومت مذکور نسبت به سایر تیمارها شده است. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی حاکی از کاهش نسبی خلل و فرج در کاغذهای دست‌ساز تهیه‌شده از تیمارهای ترکیبی نانوالیاف سلولزی است که می‌تواند بر قابلیت آبیگری خمیر کاغذ تهیه‌شده از آخال سفید اثر منفی داشته باشد.

واژگان کلیدی: آخال سفید، نانوالیاف سلولز، نشاسته کاتیونی، پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی، خواص کاغذ.

جعفر ابراهیم پور کاسمانی^{۱*}

احمد ثمریها^۲

سعید مهدوی^۳

^۱ دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران

^۲ استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران

^۳ دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

مسئول مکاتبات:

jafar_kasmani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵

مقدمه

متداول‌ترین ماده اولیه قابل بازیافت در کشورهای پیشرفته کاغذهای باطله است [۱]. در سال‌های اخیر با توجه به کاهش روزافزون منابع جنگلی، بازیافت کاغذهای باطله به عنوان یکی از روش‌های تأمین مواد اولیه سلولزی مناسب برای صنایع کاغذسازی به طور جدی مورد توجه

قرار گرفته است [۲]. امروزه استفاده از چوب درختان در صناعی چون کاغذسازی به دلایل زیست‌محیطی توصیه نمی‌شود، و ضایعات سلولزی عمدتاً مورد توجه این صنعت هستند. فرآورده‌های حاصل از این الیاف باید بتوانند در سطح ملی و بین‌المللی با فرآورده‌های حاصل از الیاف

سلولزی به‌واسطه طبیعت آنیونی و نیز سطح ویژه زیاد، تأثیر مثبتی را در ترکیب با پلیمرهای زیستی مثل نشاسته و نیز کایتوزان در سوسپانسیون‌های الیافی نشان داده است. نانوالیاف سلولزی به دلیل افزایش سطح ویژه، امکان ایجاد پیوند با سطوح الیاف معمولی را افزایش داده و در ساخت کاغذ و مقوا، معمولاً به‌عنوان تقویت‌کننده ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ استفاده می‌شود [۱۱].

کمبرود ماده اولیه سلولزی چالش مهمی برای صنایع کاغذسازی است و این مشکل در کشورهایی که دارای منابع جنگلی اندکی هستند، بیشتر نمایان است. به این سبب صنایع خمیر و کاغذسازی باید برای تأمین ماده اولیه سلولزی مورد نیاز خود و نیز جهت کاهش فشار مصرف چوب، در جستجوی سایر منابع جایگزین باشند. در حال حاضر، استفاده از الیاف کاغذهای بازیافتی به‌عنوان یک منبع مهم جایگزین مطرح است. نگرانی اصلی در این رویکرد، مقاومت‌های کمتر کاغذهای بازیافتی به‌واسطه ماهیت الیاف آنها است که چندین بار فرایندهای تولید را پشت سر گذارده‌اند که در نتیجه در مقایسه با الیاف بکر، ضعیف‌تر، کوتاه‌تر و واجد دیواره‌ای نازک‌تری بوده و در اثر پالایش دچار تخریب زیادی می‌شوند. با افزودن خمیر الیاف بلند می‌توان اثرهای منفی کوتاه شدن الیاف بازیافتی را تا حدودی خنثی نمود اما مشکل اصلی این راهکار، تأمین ارز و واردات خمیرکاغذ الیاف بلند به دلیل فقدان جنگل‌های سوزنی‌برگ تجاری در ایران است. این تحقیق باهدف مقایسه اثرهای مستقل و ترکیبی استفاده از افزودنی‌های مختلف شامل نانوالیاف سلولزی، پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی، نشاسته کاتیونی و الیاف بلند وارداتی در ساخت کاغذهای دست‌ساز تهیه‌شده از خمیرکاغذ بازیافتی آخال سفید انجام شد.

مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ

خمیرکاغذ سفید از کارخانه کاغذسازی اترک به مقدار ۱۰ کیلوگرم و خمیرکاغذ الیاف بلند شیمیایی کرافت وارداتی از کشور روسیه نیز تهیه شد. درجه روانی خمیرکاغذ الیاف بلند توسط کوبنده آزمایشگاهی PFI به حدود ۴۰۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادا رسانده شد. پس از

خمیرکاغذ بکر^۱ رقابت کنند. از آنجایی که ۳۳ درصد الیاف مورد استفاده در جهان بازیافتی است [۳]، رفع این چالش می‌تواند با موفقیت همراه باشد. تولید بعضی از فرآورده‌ها مثل رویه سفید ورق کنگره‌ای^۲، مقوای پشت‌سفید و برخی از کاغذهای بهداشتی مبتنی بر کاغذهای باطله سفید است. تولید این نوع فرآورده‌ها از الیاف بازیافتی اقتصادی و رضایت‌بخش است. استفاده از افزودنی‌های شیمیایی در پایانه تر کاغذسازی به‌منظور بهبود کیفیت محصول یا فرایند تولید امری متداول است [۴]. این مسئله در الیاف بازیافتی به علت شرایط خاص آن از اهمیت زیادی برخوردار است. بازیافت کاغذهای باطله به‌طورمعمول با افزایش مقدار نرمه‌ها^۳ همراه است. وجود مقادیر زیاد نرمه در منابع الیاف بازیافتی از یک‌طرف مسئله کاهش تولید (به علت قابلیت ماندگاری کم این نرمه‌ها) را مطرح می‌کند و از طرف دیگر نه‌تنها سبب مشکلاتی در خواص کاغذ می‌شوند، بلکه در ویژگی‌هایی مانند قابلیت آبیگری به‌خصوص در کاغذهایی با جرم پایه زیاد اختلال ایجاد می‌کنند. در پایانه تر کاغذسازی معمولاً افزودنی‌های زیادی از جمله پلی‌اکریل-آمید [۵ و ۶] و نشاسته [۷ و ۸] در قسمت‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. نشاسته به دلیل قیمت نسبتاً کم و قابلیت بهبود مقاومت‌های مکانیکی کاغذ به‌طور سنتی در بخش تر کاغذسازی استفاده می‌شود. اعتقاد بر این است که نشاسته در فرایند بخش تر، جذب الیاف سلولزی می‌شود و در نتیجه امکان تشکیل پیوندهای هیدروژنی را تقویت می‌کند. پلی‌اکریل‌آمید نیز به‌عنوان یکی از پلیمرهای محلول در آب با جرم مولکولی بالا در صنعت کاغذسازی به‌عنوان رزین مقاومت خشک و کمک نگه‌دارنده استفاده می‌شود. این رزین در بخش پایانه تر با تشکیل پیوندهای هیدروژنی بیشتر بین الیاف، باعث بهبود ماندگاری الیاف، نرمه‌ها، پرکننده‌ها، ذرات ریز و در نتیجه بهبود خواص مقاومتی خمیرکاغذ، جلوگیری از هدر رفت مواد و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. اخیراً نانوالیاف سلولزی نیز به‌عنوان یک افزودنی دوستدار محیط‌زیست برای مصارف مختلف از جمله صنایع کاغذ و مقوا مورد توجه قرار گرفته است [۹ و ۱۰]. نانوالیاف

¹ Virgin

² White top liner

³ Fines

یک بالن ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر ریخته شد و به مدت ۳ ساعت با شدت دوران ۵۰۰ دور در دقیقه با یک هم زدن مخلوط شد. محتویات بالن به مدت ۲۴ ساعت داخل یخچال قرار داده شد. سپس محلول با غلظت ۰/۰۷ درصد مجدداً به مدت ۲۰ دقیقه هم زده شد. برای استفاده از این محلول، مدت نگهداری در یخچال حداکثر تا مدت ۲۴ ساعت بود. بعد از آماده سازی اولیه خمیر کاغذ سفید، الیاف بلند و مواد افزودنی به شرح فوق، کاغذهای دست ساز از ۷ تیمار به شرح جدول ۱- ساخته شدند.

تهیه کاغذهای دست ساز

از هر تیمار تعداد ۱۰ کاغذ دست ساز ۶۰ گرمی بر اساس آئین نامه استاندارد شماره SCAN C-26:67 و با استفاده از دستگاه ورق ساز نوع KCL^۳ ساخته شد.

اندازه گیری خواص کاغذ

خواص فیزیکی و مکانیکی مورد بررسی کاغذهای دست ساز در جدول ۲ طبق استانداردهای Tappi اندازه گیری شد. برای اندازه گیری جرم پایه کاغذ از یک ترازوی آزمایشگاهی بادقت ۰/۰۱ گرم و ضخامت کاغذ از یک میکرومتر استفاده شد. برای اندازه گیری مقاومت به عبور هوا (روش گرلی^۴) و صافی سطح (روش بک^۵) ساخت شرکت Frank-PTI استفاده شد. برای اندازه گیری مقاومت کششی و پاره شدن کاغذ از دستگاه های ساخت شرکت L&W سوئد و برای اندازه گیری مقاومت به ترکیدن کاغذ از دستگاه ساخت شرکت Drick چین استفاده شد.

اندازه گیری دقیق رطوبت خمیر کاغذ، درون کیسه های پلاستیکی قرار داده شد و تا زمان مصرف در داخل یخچال نگهداری شد.

نانوالیاف سلولزی

نانوالیاف سلولزی از شرکت تعاونی دانش بنیان نانو نوین پلیمر تهیه شد [۵]. نانوالیاف سلولز این شرکت به روش سوپر آسیاب از آلفا سلولز سوزنی برگان تولید گردید. میانگین قطر و طول آن توسط تولیدکننده به ترتیب 35 ± 10 نانومتر و ۱۰ میکرومتر گزارش شده است.

نشاسته کاتیونی

نشاسته کاتیونی مورد استفاده در این تحقیق، نشاسته حاصل از گیاه تاپیوکا^۱ با درجه استخلاف 0.35 mol/mol و دارای pH حدود ۶ با نام تجاری Excelcat کشور تایلند بود. به منظور آماده سازی، ابتدا نشاسته پودری با آب مقطر به غلظت ۱٪ داخل یک بالن ژوژه رسانده شد. در حین هم زدن محلول بر روی یک اجاق الکتریکی به مدت ۳۰ دقیقه، دمای محلول با یک دماسنج کنترل شد تا به دمای ۹۰ درجه سانتی گراد برسد. پس از پخت کامل نشاسته، اجازه داده شد تا به تدریج و در دمای اتاق خنک شده و محلول آماده شده طی همان روز، پس از رقیق سازی تا غلظت ۰/۷۵ درصد برای آزمون های مربوطه استفاده شد.

پلی آکریل آمید کاتیونی

ماده کمک نگه دارنده پلی آکریل آمید کاتیونی با نام تجاری Farinret K325 تولیدی شرکت دگوسا^۲ و مورد مصرف در کارخانه صنایع چوب و کاغذ مازندران بود. ابتدا پلی آکریل آمید کاتیونی با آب مقطر به غلظت ۱۴٪ رسانده شد و سپس یک میلی لیتر از این محلول به داخل

³ KCL Handsheet maker

⁴ Gurley

⁵ Bekk

¹ Tapioca

² Degussa

جدول ۱- شرح تیمارها

ردیف	تیمار	کد تیمار
۱	خمیر کاغذ سفید به عنوان شاهد	Control
۲	تیمار ۱۵٪ خمیر کاغذ الیاف بلند پالایش شده	15% LF
۳	تیمار ۳٪ نانوالیاف سلولزی	3%NC
۴	تیمار ۰٫۷۵ درصد نشاسته کاتیونی و سپس ۳٪ نانوالیاف سلولزی	3%NC+0.75%CS
۵	تیمار ۰٫۷۵ درصد نشاسته کاتیونی	0.75% CS
۶	تیمار ۰٫۰۷ درصد پلی‌آکریل آمید کاتیونی و سپس ۳٪ نانوالیاف سلولزی	3%NC+0.07%CPAM
۷	تیمار ۰٫۱۵ درصد پلی‌آکریل آمید کاتیونی	0.07%CPAM

جدول ۲- خواص کاغذهای دست‌ساز مورد آزمون

ردیف	خواص مورد آزمون	شماره استاندارد
۱	دانسیته	T410 om-02
۲	صافی سطح (روش بک)	T 479 cm-21
۳	مقاومت به عبور هوا (گرلی)	T 460 om-02
۴	شاخص مقاومت به کشش	T494 om-96
۵	شاخص مقاومت به ترکیدن	T403 om-98
۶	شاخص مقاومت به پاره شدن	T414 om-98

محاسبات آماری

در این پژوهش، طرح آزمایشی مورد استفاده از نوع کاملاً تصادفی بود که به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از تجزیه واریانس یک طرفه استفاده شد. در صورت معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین داده‌ها، برای گروه‌بندی آنها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اعتماد ۹۵ درصد توسط نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

سطح معنی‌داری اختلاف بین خواص مورد بررسی کاغذهای دست‌ساز در جدول تجزیه واریانس نشان داده شده است (جدول ۳). اثر مواد افزودنی بر دانسیته، شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن و پاره شدن، و مقاومت به عبور هوا به جز صافی سطح در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۳- تجزیه واریانس (مقدار F و سطح معنی‌داری) اثر تیمارها بر خواص کاغذهای دست‌ساز

خواص کاغذ	دانسیته	شاخص کشش	شاخص پاره شدن	شاخص ترکیدن	صافی سطح (Bekk)	مقاومت به عبور هوا (گرلی)
مقدار F	*۴۳/۳	*۴۹/۹	*۸/۳	*۳۵/۴	*۲/۸	*۷/۹

*اختلاف در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است ns عدم اعتماد در سطح اعتماد ۹۵٪

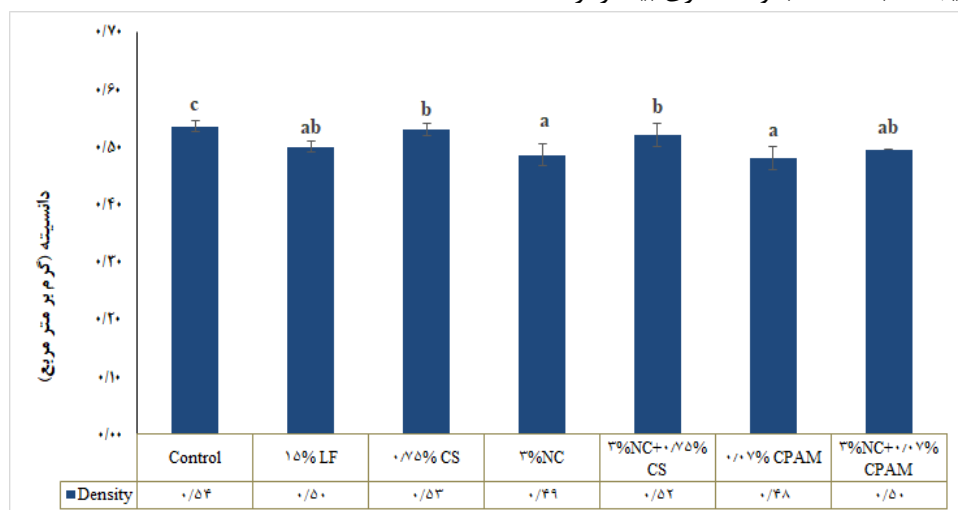
دانسیته کاغذ

دانسیته بر روی اکثر خواص کاغذ عمدتاً تأثیر می‌گذارد [۱۲]. دانسیته از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی کاغذ است که در بررسی ساختار فیزیکی و میزان فشردگی کاغذ مورد استفاده بوده و بر انتقال بهینه و مطلوب حرارت

در خشک‌کن اثرگذار است [۱۳]. در کاغذهای بسته‌بندی افزایش دانسیته موجب کاهش سفتی خمشی شده و به هنگام خیس شدن در فرایند کنگره‌سازی منجر به پارگی کاغذ می‌شود [۱۴]. طبق جدول ۲ اختلاف معنی‌داری بین میانگین‌های دانسیته کاغذهای ساخته شده از ۷

ها در اثر افزودن نشاسته کاتیونی می‌تواند منجر به افزایش دانسیته شود [۱۵]. افزودن خمیر کاغذ الیاف بلند به دلیل زبری بیشتر این الیاف، موجب افزایش حجمی و در نتیجه کاهش دانسیته شده است که طبق گروه‌بندی دانکن در گروه آماری ab قرار می‌گیرد.

ترکیب خمیر کاغذ وجود دارد و گروه‌بندی دانکن میانگین-ها را در ۴ گروه قرار داده است (شکل ۱). مقادیر دانسیته کاغذها از ۰/۴۸ تا ۰/۵۴ گرم بر سانتیمتر مکعب در کاغذهای دست‌ساز متغیر است. دانسیته کاغذهای ساخته شده با افزودن ۱/۵٪ نشاسته کاتیونی به‌طور مستقل، بیشینه است. ایجاد شبکه مناسب و ماندگاری بیشتر نرمه-



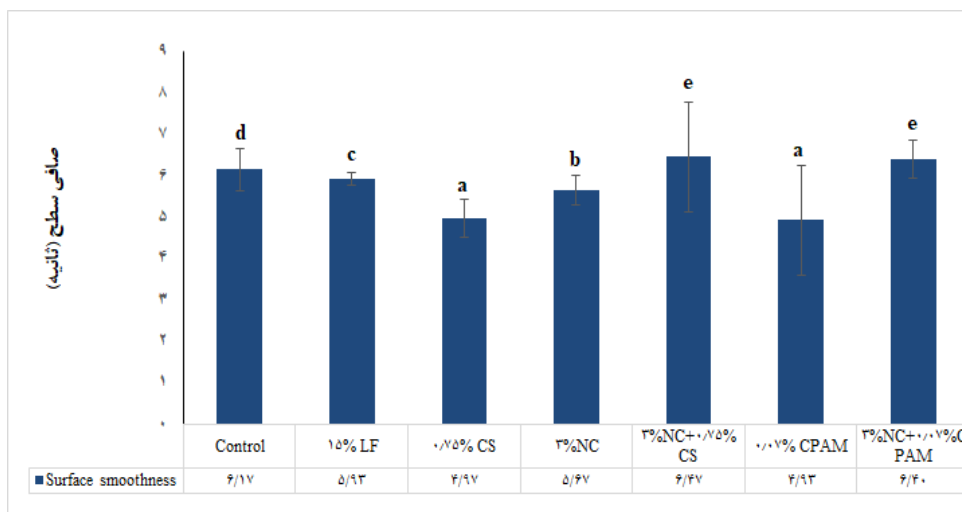
شکل ۱- مقایسه میانگین دانسیته کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

۰/۰۷ درصد پلی‌آکریل آمید با میانگین ۴/۹۳ ثانیه (گروه a- شکل ۲) و بیشترین صافی سطح مربوط به تیمارهای ترکیبی حاوی ۳ درصد نانوالیاف سلولزی است (گروه e- شکل ۲). این ویژگی بسیار متأثر از میانگین طول الیاف سلولزی و وجود نرمه‌های سلولزی و تثبیت آنها در شبکه کاغذ و کیفیت شکل‌گیری آن است؛ از این رو در یک ترکیب مشخص به‌نوعی عملکرد مواد افزودنی را در سوسپانسیون خمیر کاغذ مشخص می‌کند. برای مثال؛ دلمه شدن ذرات ریز الیاف سلولزی (مثل نانوالیاف سلولزی) می‌تواند باعث بهبود صافی سطح کاغذ شود [۱۷]. مشابهت نانوالیاف سلولزی و الیاف به یکدیگر و افزایش ماندگاری نرمه‌ها از طریق بهبوددهنده‌های اتصال آنها و قرار گرفتن در فضای خالی بین الیاف، موجب افزایش صافی سطح کاغذ می‌گردد که می‌تواند از نظر کیفیت بهتر چاپ مطرح باشد. افزودن نشاسته کاتیونی و نیز پلی‌آکریل آمید کاتیونی به‌صورت مستقل، موجب کاهش صافی سطح کاغذها شده است که می‌تواند ناشی از پراکنش غیریکنواخت آنها در سطح باشد.

کاربرد مستقل نانوالیاف سلولزی سبب کاهش دانسیته نسبت به نمونه شاهد شده است که علت آن را می‌توان ماندگاری کمتر نرمه الیاف سلولزی ذکر نمود. ولی استفاده ترکیبی نانوالیاف سلولزی با نشاسته کاتیونی سبب افزایش معنی‌دار دانسیته نسبت به استفاده مستقل نانوالیاف سلولزی شده است. به‌عبارت‌دیگر پس از اتصال نرمه‌ها به الیاف توسط نشاسته کاتیونی، کوچکی ابعاد ذرات نانوالیاف سلولز امکان نفوذ به درون شبکه تشکیل‌شده توسط نشاسته کاتیونی را فراهم نموده و چگالی بار زیاد این ذرات منجر به تراکم بیشتر ساختار کاغذ شده است.

صافی سطح

صافی سطح کاغذ از ویژگی‌های مهم ساختاری آن است که در بسیاری از کاربردها بخصوص برای چاپ پذیری بهتر و کیفیت بیشتر چاپ از اهمیت قابل‌ملاحظه‌ای برخوردار است [۱۶]. اثر مواد افزودنی بر صافی سطح کاغذها نیز در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). کم‌ترین صافی سطح مربوط به

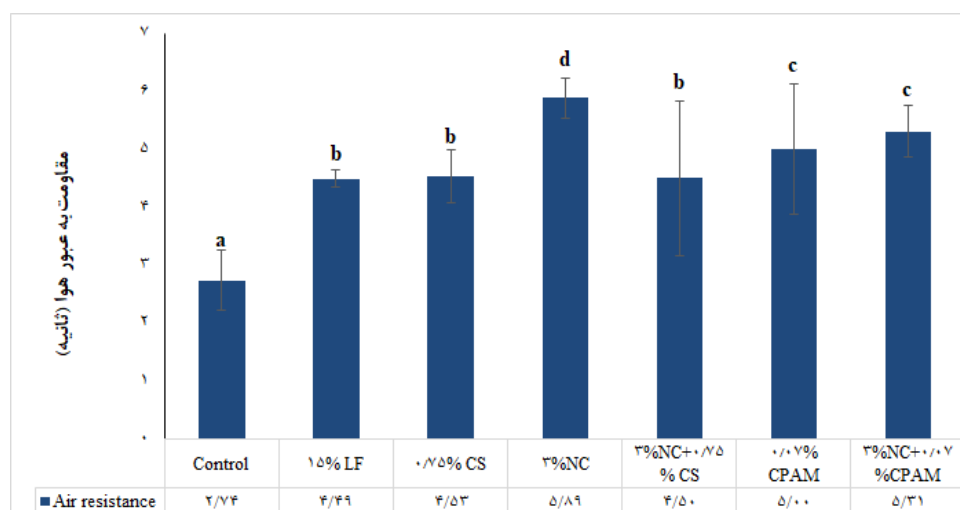


شکل ۲- مقایسه میانگین صافی سطح کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

کاهش می‌یابد. میانگین‌های این مقاومت در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافته است که بیشترین مقدار مربوط به استفاده از ۳٪ نانوالیاف سلولزی است و علت آن می‌تواند به کاهش خلل و فرج کاغذ مربوط باشد که موجب کاهش عبور هوا در کاغذ می‌شود. در صورت پراکنش مناسب ذرات نانوالیاف سلولزی، نفوذپذیری در برابر هوای کاغذ کاهش می‌یابد [۱۹]. افزایش زیاد این مقاومت در کاغذ می‌تواند موجب اختلال در عملکرد قسمت‌های برداشت کاغذ در تغذیه‌کننده ماشین چاپ می‌شود.

مقاومت به عبور هوا

شکل ۳ میانگین تغییرات مقاومت به عبور هوا را برای ۷ نوع کاغذ دست‌ساز نشان می‌دهد. میانگین‌های مقاومت به عبور هوا توسط گروه‌بندی دانکن در ۴ گروه مستقل قرار گرفته است. مقاومت به عبور هوا ساختار داخلی کاغذ را به‌طور غیرمستقیم نشان می‌دهد. چگونگی توزیع مواد افزودنی و الیاف، نمره‌های الیاف و کیفیت شکل‌گیری کاغذ می‌توانند بر آن تأثیرگذار باشند [۱۸]. عموماً با بهبود کیفیت شکل‌گیری، مقاومت کاغذ به عبور هوا

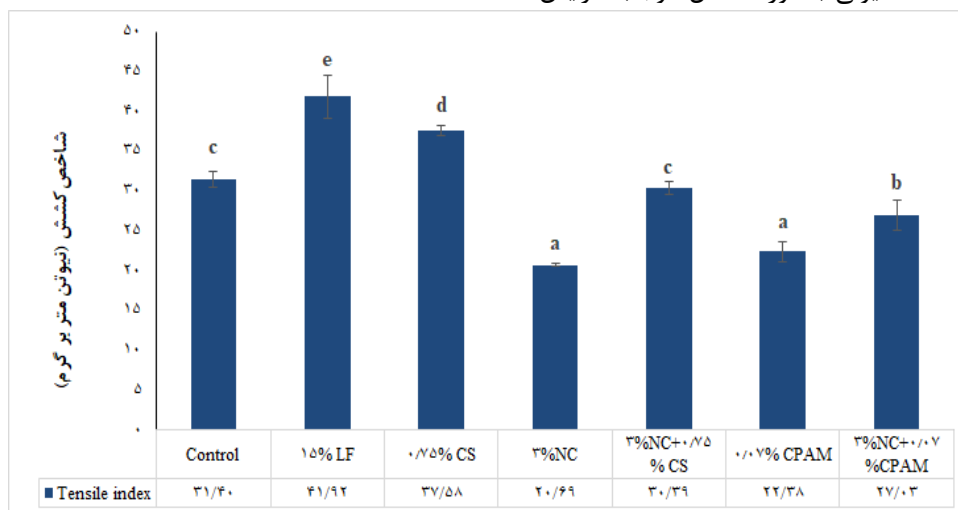


شکل ۳- مقایسه میانگین مقاومت عبور هوا کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

شاخص مقاومت کششی

این شاخص نسبت به نمونه شاهد شده است و طبق گروه - بندی دانکن میانگین آن در گروه مستقل d قرار گرفت. بیشترین میانگین شاخص مقاومت کششی مربوط به استفاده از ۱۵٪ خمیر الیاف بلند است (گروه e). الیاف بلند به دلیل مقاومت کششی ذاتی زیاد به ویژه وقتی که پالایش می‌شوند موجب بهبود این مقاومت می‌شوند. استفاده از نانوالیاف سلولزی به صورت مستقل موجب کاهش این مقاومت شده است. به دلیل عدم وجود سیستم جوهر زدایی در شرکت اترک و وجود ذرات جوهر در خمیر کاغذ مورد استفاده، احتمالاً پیوند و استقرار ذرات نانوالیاف با الیاف خمیر کاغذ پایه مناسب نبوده است [۲۱]. در این خصوص، گزارش‌هایی مبنی بر افزایش شاخص مقاومت کششی کاغذهای باطله اداری و کاغذ فتوکپی با جوهر زدایی خمیر کاغذ آنها منتشر شده است [۲۱ و ۲۲].

مقاومت کششی کاغذ متأثر از دو فاکتور کلیدی شامل مقاومت ذاتی الیاف و مقاومت پیوند بین الیاف و انعطاف پذیری الیاف است. این مقاومت از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های کاربردی انواع کاغذ و مقوا بوده که متأثر از مقاومت ذاتی الیاف، تعداد و مقاومت اتصالات بین ليفی و شکل‌گیری کاغذ است [۲۰]. نوع و میزان افزودنی‌های پایانه تر کاغذسازی بر توزیع اجزای دوغاب و در پی آن شکل‌گیری کاغذ، تعداد و مقاومت پیوندها مؤثر بوده که به واسطه نقش این مواد در دلمه سازی، آگیری و پیوند یابی است [۲۰]. به طور کلی استفاده از نشاسته کاتیونی موجب بهبود مقاومت کششی، ترکیدن و پاره شدن کاغذ می‌شود، لیکن مقدار استفاده از این افزودنی و نیز نوع خمیر کاغذ در میزان این بهبود نقش مهمی دارد [۲۱]. استفاده از نشاسته کاتیونی به طور مستقل موجب افزایش



شکل ۴- مقایسه میانگین شاخص مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

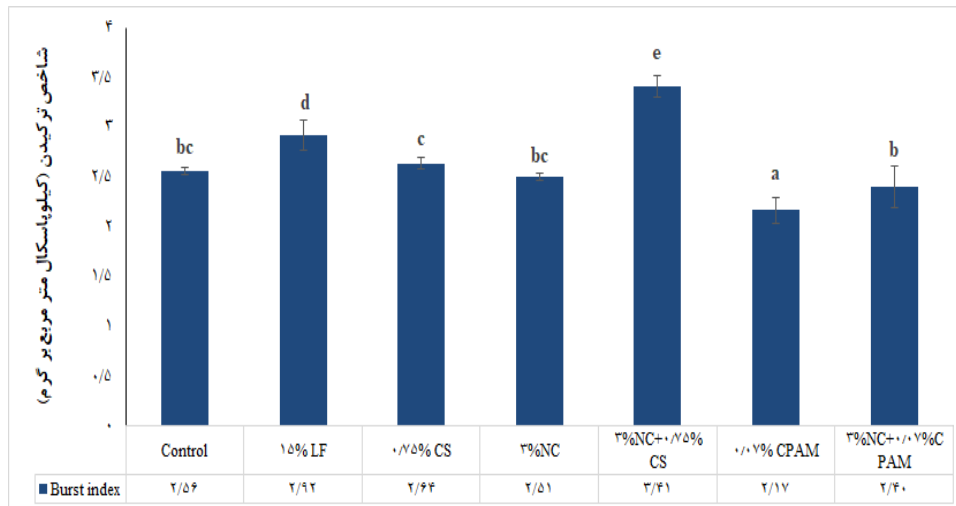
و همکاران (۱۳۹۷) نیز اثر افزودن ۱٪ نشاسته کاتیونی و ۳٪ نانوالیاف سلولزی را در توالی‌های دوتایی بیشتر گزارش نموده‌اند [۲۴]. افزودن ابتدا بسیار کاتیونی موجب پل زدن بیشتر بسیار بین الیاف می‌شود به طوری که با افزودن نانوالیاف، نانو ذرات آنیونی در میان شبکه بسیار - الیاف جای می‌گیرند. اگر ابتدا نانو ذرات آنیونی افزوده شود، پس از افزودن بسیار کاتیونی، موقعیت‌های کاتیونی موجود در رشته‌های بسیار بیشتر توسط نانو ذرات اشغال می‌شود تا الیاف و سهم پل‌زنی بسیار بین الیاف کمتر می‌شود [۲۵]. احتمالاً به همین دلیل افزودن کاتیون در ابتدا، مقاومت به

شاخص مقاومت به ترکیدن

مقاومت به ترکیدن از جمله مقاومت‌هایی است که به طول الیاف و میزان پیوند بین آنها بستگی دارد ولی بیش‌تر تحت تأثیر اتصال بین الیاف است [۲۳]. شکل ۵ میانگین تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدن برای ۷ نوع کاغذ دست‌ساز را نشان می‌دهد. گروه‌بندی دانکن میانگین‌های داده‌های شاخص مقاومت به ترکیدن را در ۵ گروه مستقل قرار داده است. این شاخص با افزودن ترکیبی نشاسته کاتیونی و نانوالیاف سلولزی بیشترین افزایش را نسبت به نمونه شاهد نشان داده است. رضایتی

تمایل خوب و بالای نشاسته کاتیونی با سطح الیاف سلولزی باعث برقراری اتصالات کووالانسی امید، یونی و هیدروژنی تسهیل می‌شود و تأثیری بیش از افزودن ۱۵٪ الیاف بلند را از خود به جای می‌گذارد (گروه c).

ترکیدن کاغذ را بیشتر افزایش می‌دهد. از آنجایی که نشاسته به واسطه بار کاتیونی سازگاری و تمایل خوب و بالائی با سطح آنیونی الیاف سلولزی دارد؛ برقراری پیوندهای الکترواستاتیکی تسهیل می‌شود [۲۶]. در واقع سازگاری و



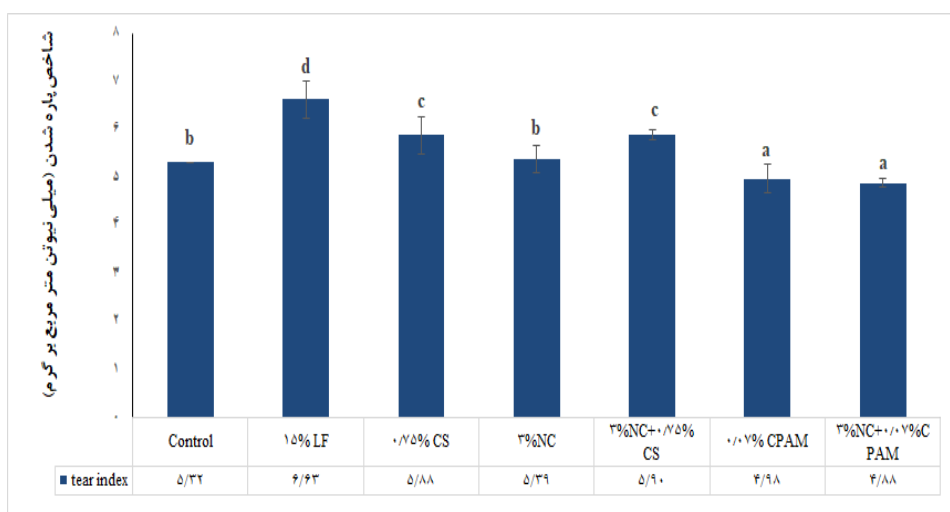
شکل ۵- مقایسه میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

مستقل و ترکیبی پلی‌آکریل آمید کاتیونی، شاخص پارگی کاغذ دست‌ساز بیشتر از تیمار شاهد است. وجود ذرات ریز جوهر و نیز ذرات آنیونی^۱ در خمیر کاغذ آخال سفید می‌تواند بر مقاومت به پاره شدن اثر منفی گذارد. بیشترین شاخص پارگی همانند شاخص کششی با افزودن ۱۵٪ الیاف بلند حاصل شده است. با افزودن نشاسته کاتیونی به صورت مستقل و ترکیبی، مقاومت به پاره شدن نیز افزایش یافته که دلیل آن می‌تواند احیای نقاط ازدست‌رفته در سطح الیاف بازیافتی باشد. نشاسته کاتیونی توان اتصال بین الیاف بازیافتی را افزایش می‌دهد که در نهایت باعث بهبود این شاخص می‌شود [۲۸]. افزودن ۰/۷۵ درصد نشاسته کاتیونی به صورت مستقل و نیز در ترکیب با ۳٪ نانوالیاف سلولزی توانسته است نقش مؤثر و قوی خود را در افزایش این شاخص ایفا نماید.

شاخص مقاومت به پارگی

این ویژگی از جمله پارامترهای مورد ارزیابی کیفی کاغذ و مقوا، به‌ویژه در کاربردهای بسته‌بندی است. عوامل اصلی تأثیرگذار در این مقاومت کاغذ شامل میانگین طول و قطر الیاف و نیز مقاومت ذاتی الیاف به‌کاررفته در تولید کاغذ است که البته میزان پیوند یابی اجزا و نیز جهت یافتگی آن‌ها در ساختار کاغذ نیز تأثیرگذار هستند [۲۷]. در مورد مقاومت به پاره شدن اولویت تأثیرگذاری با طول الیاف و مقاومت خود الیاف است؛ اما در صورتی که این دو عامل شرایط ثابتی داشته باشد، وضعیت پیوندهای بین لیفی برافزایش این مقاومت نیز تأثیر مثبتی دارد [۸]. در شکل ۶ میانگین تغییرات این شاخص برای ۷ نوع کاغذ دست‌ساز دیده می‌شود که توسط گروه‌بندی دانکن در ۴ گروه مستقل قرار گرفته‌اند. در تمام تیمارها به‌غیر از کاربرد

¹ Anionic trash



شکل ۶- مقایسه میانگین شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز و گروه‌بندی آنها

در نتیجه تقویت شبکه بین الیاف سلولزی است [۳۱-۳۲]. بیشترین صافی سطح مربوط به تیمارهای ترکیبی نانوالیاف سلولزی است که می‌تواند موجب بهبود چاپ پذیری سطح کاغذ و کاهش نیاز به اندود زنی شود، اما افزایش مقاومت به عبور هوا و نیز کاهش قابلیت آبگریز ورقه کاغذ با افزودن نانوالیاف سلولزی، می‌تواند باعث بروز مشکلاتی در ماشین چاپ و ماشین کاغذ شود. بیشترین شاخص مقاومت کششی، ترکیدن و پاره شدن کاغذهای دست‌ساز با افزودن ۱۵٪ خمیر الیاف بلند حاصل شده است. پس‌از آن، استفاده از ۰/۷۵ درصد نشاسته کاتیونی نیز به‌صورت مستقل موجب بهبود هر سه مقاومت مذکور نسبت به سایر تیمارها شده است. استفاده از خمیر کاغذ الیاف بلند و نیز نشاسته کاتیونی به‌صورت مستقل برای بهبود خواص مختلف کاغذهای بازیافتی تهیه‌شده از آخال سفید می‌تواند ضمن ایجاد ارزش‌افزوده، مزایای مختلفی را نیز به شرح فوق به همراه داشته باشد. با توجه به این‌که آخال مصرفی در کارخانه اترک به دلیل عدم وجود سیستم جوهر زدایی، همواره دارای مقادیری از ذرات ریز جوهر است، شاید عدم ایجاد تأثیر مثبت پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی بر خواص کاغذهای دست‌ساز را بتوان به این علت دانست. میکرو گراف‌های ساختار کاغذ در تیمارهای مختلف در مقایسه با نمونه شاهد، حاکی از کاهش خلل و فرج کاغذهای دست‌ساز با افزودن نانوالیاف سلولزی است که می‌تواند اثر منفی بر سرعت ماشین کاغذ بگذارد.

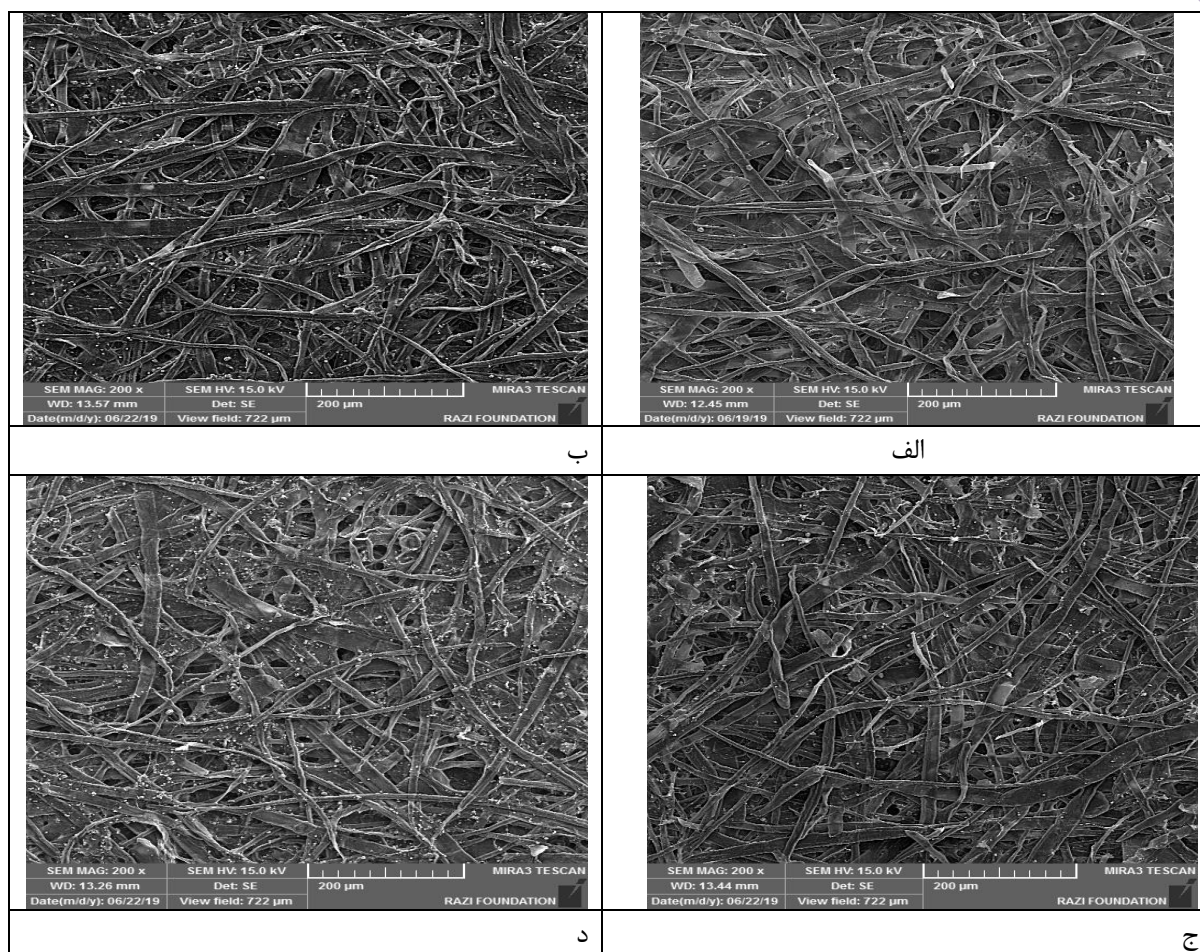
میکرو گراف‌های نثرمیدانی کاغذهای دست‌ساز

(FE-SEM)

میکرو گراف‌های زیر، ساختار کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیر کاغذ بدون افزودنی (الف)، با افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی (ب)، با افزودن ۳٪ نانوالیاف سلولزی و ۰/۷۵ درصد نشاسته کاتیونی (ج) و ۳٪ نانوالیاف سلولزی و ۰/۷ درصد پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی (د) را نشان می‌دهد (شکل ۷). ظاهراً با افزودن نانو سلولز به همراه نشاسته کاتیونی یا پلی‌اکریل‌آمید کاتیونی خلل و فرج کاغذها کاهش‌یافته است. افزودن ذرات با ابعاد نانو باعث پاره شدن خلل و فرج بین الیاف کاغذ شده و در نتیجه باعث کاهش قابلیت آبگریز از ورقه کاغذ می‌شود [۲۴ و ۲۹] که این موضوع می‌تواند بر سرعت ماشین کاغذ اثر منفی گذارد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از ۴ نوع افزودنی به‌صورت مستقل و ترکیبی می‌تواند اثرات متفاوتی بر خواص خمیر کاغذ تهیه‌شده از آخال سفید بگذارد. دانسیته ظاهری یکی از شاخص‌های پیش‌بینی مقاومت‌های کاغذ است که با بهبود اتصالات بین الیاف، افزایش می‌یابد [۳۰]. با افزودن نشاسته کاتیونی به‌صورت مستقل و ترکیبی، دانسیته کاغذهای دست‌ساز افزایش‌یافته است که به دلیل افزایش سطح تماس و پیوندهای بین لیفی و



شکل ۷- میکرو گراف‌های ساختار کاغذهای دست‌ساز (الف) بدون افزودنی (ب) با ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی (ج) با ۳ درصد نانوالیاف سلولزی و ۰/۷۵ درصد نشاسته کاتیونی (د) با ۳ درصد نانوالیاف سلولزی و ۰/۰۷ درصد پلی‌آکریل آمید کاتیونی

منابع

- [1] Ghaffari, M., Ghasemian, A., Resalati, H., and Asadpour, G., 2012. Determination of the optimum use of cationic starch on the basis of the mechanical strengths of mixed OCC and virgin NSSC pulps. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 2(2): 121-133.
- [2] Akbarpour, I., 2009. Enzymatic deinking of old newspaper. M.SC thesis. Agricultural sciences & natural resources university of gorgan. 121 pages. (In Persian)
- [3] Leponiemi, A., 2011. Fibres and energy from wheat straw by simple practice. VTT publications, Aalto University.
- [4] Rahmaninia, M., and Khosravani, A., 2015. Improving the paper recycling process of old corrugated container wastes. Cellulose Chemistry and Technology, 49(2): 203-208.
- [5] Tajik, M., Resalati, H., Hamzeh, Y., Torshizi, H.J., Kermanian, H., and Kord, B., 2016. Improving the Properties of Soda Bagasse Pulp by Using Cellulose Nanofibers in the Presence of Cationic Polyacrylamide. BioResources, 11(4): 9126-9141.

- [6] Jalali, T.H. Zare, B.S., Ramezani, O., and Rudi, H., 2016. Effect of nano silica and cationic polyacrylamide on retention, drainage and strength properties of recycled paper from OCC. *Forest and Wood Products.*, 68(4). 771- 784. (In Persian).
- [7] Li, T., Fan, J., Chen, W., Shu, J., Qian, X., Wei, H., Wang, Q., and Shen, J., 2016. Coaggregation of mineral filler particles and starch granules as a basis for improving filler-fiber interaction in paper production. *Carbohydrate polymers*, 149: 20-27.
- [8] Ebrahim Berisa, R., and Tavakoli, H., 2015. Starch Application as a Dry-strength Additive in Papermaking, *Polymerization*, 5(3): 90-101. (In Persian).
- [9] Adel, A.M., El-Gendy, A.A., Diab, M.A., Abou-Zeid, R.E., El-Zawawy, W.K., and Dufresne, A., 2016. Microfibrillated cellulose from agricultural residues. Part I: Papermaking application. *Industrial Crops and Products*, 93: 161-174.
- [10] Osong, S.H., Norgren, S., and Engstrand, P., 2016. Processing of woodbased microfibrillated cellulose and nanofibrillated cellulose, and applications relating to papermaking: a review. *Cellulose.*, 23(1): 93-123.
- [11] Vallejos, M.E., Felissia, F.E., Area, M.C., Ehman, N.V., Tarrés, Q., and Mutjé, P., 2016. Nanofibrillated cellulose (CNF) from eucalyptus sawdust as a dry strength agent of unrefined eucalyptus handsheets. *Carbohydrate polymers*, 139: 99-105.
- [12] Afra, E., 2005. *The Fundamentals of Paper Properties*, Aeej Publication, Tehran, 338 p. (In Persian).
- [13] Pourkarim Dodangeh, H., and Jalali Torshizi, H., 2018. The effect of cellulose nanofibres on cationic starch efficiency in pulp and paper recycled from packaging waste paper. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 9(2): 187-197.
- [14] Niskanen, K., 1998. *Paper Physics, Papermaking Science and Technology Series*, Gullichsen, J., and Paulapuro, H. eds. Fapet Oy, Helsinki, , Finland, 324 p.
- [15] Afra, E., Eskandari, M., Resalati, H., and Dehghani-Firouzabadi, M.R., 2014. Comparison of the Physical, Mechanical and Optical Properties Paper Treated with Nanoclay and Homogenized Nanoclay. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 21(3): 131-148.
- [16] Elyasi-Bakhtyari, S., Jalali-Torshizi, H. and Resalati, H., 2016. Alkyl Ketene Dimer (AKD) Sizing of Recycled-Virgin Cardboard with Engineered Heterogeneous Layers under Neutral and Alkaline Condition, *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 23: 1-20.
- [17] Hamzeh, Y., and Rostampour-Haftkhani, A., 2008. *Principales of Papermaking Chemistry*. Tehran University Publications, Tehran, 424 p. (In Persian).
- [18] Asadpour, G., Resalati, H., Dehghani, M. R., Ghasemian, A., and Mohammad Nazhad, M., 2015. Comparison of using single and dual retention aid system on newspaper pulp properties. *Wood and Forest Science and Technology*, 22(2): 75-93. (In Persian).
- [19] Goli, M., Zabihzade, M., Mahdavi, S., and Sadaghifar, H., 2016. The effect of TCF bleaching before and after refining on the CMP pulp properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 31(3): 510-521. (In Persian).
- [20] Naijian, F., Resalati, H., Rudi, H. R., Jalali-Torshizi, H., and Pirmoradian, K., 2017. Effect of alum-cationic rosin consumption level on the properties of papers made from recycled white sheets trimmings. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 32(2): 238-250.
- [21] Lee, C. K., Ibrahim, D., Ibrahim, C. O., and Daud, W. R. W., 2011. Enzymatic and chemical deinking of mixed office wastepaper and old newspaper: paper quality and effluent characteristics. *BioResources*, 6(4): 3859-3875.

- [22] Pathak, P., Bhardwaj, N. K., and Singh, A. K., 2011. Optimization of chemical and enzymatic deinking of photocopier waste paper. *BioResources*, 6(1): 447-463.
- [23] Kiaei, M., Samariha, A., and Farsi, M., 2016. Effects of montmorillonite clay on mechanical and morphological properties of papers made with cationic starch and neutral sulfite semichemical or old corrugated container pulps, *BioResources*, 11(2): 4990-5002.
- [24] Rezayati Charani, P., Moradian, M. H., and Saadatnia, M. A., 2018. Sequence analysis using cellulose nanofibers, cationic starch and polyacrylamide in the paper tensile strength. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 25(3): 73-82.
- [25] Latibari, A.J., Khosravani, A., and Nabavi, S.M.H., 2011. Application of Micro and Nanoparticles in Papermaking. Aeej Publication, Tehran, 216 p. (In Persian).
- [26] Pourkarim Dodangeh, H., Jalali Torshizi, H., and Rudi, H., 2021. Cationic PolyAcrylamide/ Cellulose Nanofibril Polyelectrolytes Effect on Suspension and Network Properties of Packaging Recycled fibers. *Journal of Applied Research of Chemical-Polymer Engineering*, 5(1): 3-15.
- [27] Ek, M., Gellerstedt, G. and Henriksson, G., 2014. *Pulp and Paper Chemistry and Technology, Volume 4, Paper Products Physics and Technology*, 251 p.
- [28] Heermann, M. L., Welter, S. R., and Hubbe, M. A., 2006. Effects of high treatment levels in a dry-strength additive program based on deposition of polyelectrolyte complexes: How much glue is too much. *TAPPI journal*, 5(6): 9.
- [29] Lagaron, J.M., Catala, R., and Gavara, R., 2004, Structural characteristics defining high barrier properties in polymeric materials, *Materials Science and Technology*, 20: 1–7.
- [30] Main, N. M., Talib, R. A., Rahman, R. A., Mohamed, A. Z., Ibrahim, R., and Adnan, S., 2015. Effect of amphoteric and cationic polyacrylamide on the structural and strength properties of coir paper. *Procedia Manufacturing*, 2: 28-34.
- [31] Afra, A., Mohammadi, M., Imani, R., Narchin, P. and Roshani, Sh., 2015. Improving the antibacterial properties of hygiene papres using silver nanoparticles. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research*, 22(2): 119–135.
- [32] Kang, T., 2007. Role of external fibrillation in pulp and paper properties. Helsinki University of Technology. 41 p.

The effect of different additives on the properties of handsheet prepared from office waste paper

Abstract

This study was performed in order to compare the independent and combined effects of four types of additives including cellulose nanofibers, cationic polyacrylamide, cationic starch, and imported long fiber pulp in the handsheet prepared from office waste paper. Independent treatments included the addition of 15% long fiber pulp, 3% cellulose nanofibers, 0.75% cationic starch and 0.07% cationic polyacrylamide. Combination treatments included firstly addition of 0.75% starch and then 3% cellulose nanofibers, and also 0.07% cationic polyacrylamide and 3% cellulose nanofibers. Handsheets with grammage of 60 g/m² were made from seven furnishes and finally the physical, mechanical and microscopic structures of the handsheet were investigated. The results showed that addition of long fiber pulp, cationic starch, cationic polyacrylamide and cellulose nanofibers slightly reduced the density of handsheets compared with the control. The highest surface smoothness was achieved using combined treatments of cellulose nanofibers, which could improve the printability of the paper, but decreasing the air permeability and reducing the water drainage of the sheet by adding cellulose nanofibers could cause problems on paper and printing machines. Tensile, burst and tear indices of handsheets had the highest increase by the addition of 15% long fiber pulp, and then using 0.75% cationic starch improved the strength compared with other treatments. Electron microscopy images showed a relative reduction of porosity in the handsheets made from cellulose nanofibers, which could have negative effects on water drainage of recycled pulp.

Keywords: Office waste paper, cellulose nanofibers, cationic starch, cationic polyacrylamide, paper strength.

J. Ebrahimpour-Kasmani¹
A. Samariha²
S. Mahdavi²

¹ Associate prof., Department of Wood and Paper Science & Technology, Savadkooh Branch, Islamic Azad University, Savadkooh, Iran

² Assistant prof., Department of Wood Industry, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

³ Associate prof., Wood and Forest Products Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO). Tehran, Iran

Corresponding author:
jafar_kasmani@yahoo.com

Received: 2022/04/22
Accepted: 2022/07/06