نانوالیاف‌سلولزی تهیه شده از کاغذ باطله چاپ و تحریر و اثر آن بر ویژگی‌های کاغذ بازیافتی

چکیده

در این تحقیق امکان‌سنجی تولید نانوالیاف سلولزی از کاغذهای باطله چاپ و تحریر و پتانسیل اولیه استفاده از آن به‌عنوان افزودنی در خمیرکاغذ بازیافتی موردتوجه قرار گرفت. الیاف اشاره‌شده هرچند منشأ بازیافتی داشتند، اما به‌سختی و پس از پیش تیمار ملایم اسیدی (افزودن اسیدسولفوریک خالص با درصد وزنی ۸ درصد (اسید نسبت به الیاف) در سوسپانسیون با درصد خشکی ۱ درصد در ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت) به کمک نیروی مکانیکی سوپر آسیاب دیسکی به نانوالیاف تبدیل شدند. آنالیز نانوالیاف تهیه‌شده به کمک میکروسکوپ الکترونی عبوری، نانو بودن ابعاد قطر این الیاف (۵۰–۲۵ نانومتر) و تولید موفقیت‌آمیز آن‌ها را نشان می‌داد. سپس توانایی این محصول در بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای بازیافتی و همچنین تأثیر آن بر آبگیری از این الیاف به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فرایندی بررسی گردید. در این راستا، این نانوالیاف سلولزی در سطوح مصرف ۰، ۳، ۶ و ۹ درصد (بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ)، در دور همزن ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه به الیاف بازیافتی افزوده گردید. نتایج نشان داد نانوالیاف سلولزی افزوده‌شده به خمیرکاغذ در تمامی تیمارها تأثیر مثبتی بر ویژگی‌های مقاومتی داشته است به‌طوری‌که با افزایش مصرف نانو الیاف شاخص مقاومت به کشش حداکثر ۳۱ درصد، شاخص مقاومت به پاره شدن ۱۷ درصد بوده است. همچنین ماتی و روشنی ورقه‌ها براثر افزودن نانوالیاف تغییری نکرده است. به‌علاوه آبگیری از ورقه الیاف براثر افزودن نانو الیاف کاهش چشمگیری نشان داده است. نتایج این تحقیق نشان از پتانسیل نانوالیاف تهیه‌شده از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر برای کاربرد به‌عنوان بهبوددهنده ویژگی‌های کاغذ به‌ویژه ویژگی‌های مقاومتی می‌باشد و می‌توان در تحقیقات آینده به‌صورت عمیق‌تر مورد کاوش قرار گیرد.

واژگان کلیدی: الیاف بازیافتی، نانوالیاف سلولزی، ویژگی‌های مقاومتی، آبگیری.

رباب نجیده[۱]
مهدی رحمانی‌نیا[۲*]
امیر خسروانی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، ایران

[۲] دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، ایران

[۳] دانشیار، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، ایران

مسئول مکاتبات:
rahmaninia@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۳۰

مقدمه

توسعه پایدار ازجمله مفاهیم نوینی است که در جوامع مختلف به کرات مطرح می‌گردد. در این راستا، در جهان امروز بازیافت و حفظ منابع طبیعی و محیط‌زیست در سطح کره خاکی موردتوجه قرارگرفته است. امروزه بازیافت کاغذ امری مرسوم است که علاوه بر پاسخگویی به دغدغه-های زیست‌محیطی، ازنظر اقتصادی نیز حائز اهمیت گردیده است. درواقع افزایش تقاضای محصولات سلولزی،

افزایش جمعیت و همچنین افزایش تنوع کاربرد این‌گونه محصولات ازیک‌طرف و گسترش روزافزون نگرانی‌های زیست‌محیطی (کاهش سطح جنگل‌ها، افزایش پسماندها، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از دفن آن‌ها و غیره) از طرف دیگر سبب توجه تولیدکنندگان به پتانسیل الیاف بازیافتی گردیده است؛ اما نباید این نکته را فراموش کرد که در فرایند بازیافت کاغذهای باطله، پیشینه این الیاف از اهمیت غیرقابل‌چشم‌پوشی برخوردار هستند. بسیاری از اتفاقات فرایندی به هنگام تولید کاغذ در سرنوشت کاغذ باطله نهایی و کیفیت الیاف بازیافتی نهایی تأثیرگذار خواهند بود [۱، ۲، ۳، ۴]. در اروپا،۵۲ درصد از مواد اولیه صنعت کاغذسازی از الیاف بازیافتی حاصل می‌شود که این میزان الیاف، حاصل بازیافت ۷۲/۳ درصد کاغذهای باطله است [۵]. این بدان معناست که خمیرهای بازیافتی به‌عنوان جایگزین خمیر بکر، نقش مهمی در صنعت کاغذبازی می‌کنند، به‌طوری‌که امروزه در بسیاری از کشورهای جهان، صنعت کاغذ شدیداً وابسته به استفاده از خمیرکاغذهای بازیافتی است. این وابستگی در مناطقی مانند اروپای غربی، مرکزی و جنوبی عمدتاً به دلایل اقتصادی بوده و در کشورهایی مانند ژاپن، کره جنوبی، تایوان، مکزیک و دیگر کشورها به دلیل کمبود منابع چوبی برای تولید خمیرکاغذ است [۶]. بااین‌وجود می‌توان اظهار داشت که ویژگی‌های خمیرالیاف بازیافتی در طی فرآوری مجدد کاهش می‌یابد، درنتیجه محدودیتی در استفاده از الیاف بازیافت شده در کاربردهای نهایی وجود دارد. افت ویژگی‌های الیاف بازیافتی عمدتاً ناشی از تغییرات برگشت‌ناپذیر است که در ساختار الیاف در اثر خشک شدن و تیمارهای شیمیایی و مکانیکی مکرر ایجاد می‌شود. ازآنجاکه در مواردی مقاومت چنین الیاف بازیافتی برای برآوردن تقاضای صنعت کافی نیست؛ بنابراین، مقاومت باید بهبود یابد [۷]. روش‌های مرسوم برای افزایش مقاومت کاغذ بازیافتی شامل پالایش الیاف یا اضافه کردن افزودنی‌های مقاومت خشک است [۲]. ازجمله مواد افزودنی متداول مقاومت خشک و تر می‌توان به نانوالیاف سلولزی، نشاسته کاتیونی، پلی وینیل الکل، پلی آکریل آمید اصلاح‌شده، رزین‌های پلی آمیدامین اپی کلروهیدرین، کربوکسی متیل سلولز (CMC)، کایتوزان و غیره اشاره داشت [۸]. نانوالیاف سلولزی به‌عنوان زیست پلیمرهای دوستدار محیط‌زیست، یکی از ترکیبات ارزشمندی است که اخیراً برای بهبود ویژگی‌های کاغذهای بازیافتی، به‌ویژه ویژگی‌های مقاومتی به‌عنوان افزودنی در بخش شیمی پایانه‌تر موردتوجه قرارگرفته است. این مواد معمولاً باهدف بهبود پیوندیابی در کاغذ نهایی یا ایجاد ویژگی‌های خاصی در کاغذ (مانند کاهش نفوذ هوا) به الیاف افزوده می‌شوند. نانوالیاف سلولزی، ساختارهای رشته مانند طولانی و انعطاف‌پذیر با اندازه عرض در محدوده ۱- ۱۰۰ نانومتر و طول چند میکرون هستند؛ که متشکل از مناطق کریستالی و آمورف متناوب هستند [۹]. ماهیت تجدیدپذیری این نانوالیاف، زیست‌تخریب‌پذیر بودن، سطح ویژه بالا و در دسترس بودن آن سبب شده است که علاقه به استفاده از نانوالیاف سلولزی در عرصه‌های مختلف بیشتر شود [۵]. علاوه بر ویژگی‌های مثبت اشاره شده، نانوالیاف سلولزی در عین اینکه وزن کمی دارد، به نسبت دارای مقاومت و سفتی بالایی می‌باشد. به همین دلایل، نانوالیاف سلولزی را می‌توان در بخش‌های مختلفی مانند کاغذسازی، کامپوزیت‌ها، سیمان، بسته‌بندی، دستگاه‌های الکترونیکی، پوشش‌ها، زیست پزشکی یا خودروسازی مورداستفاده قرارداد. با توجه به صنعت کاغذسازی، نانوالیاف سلولزی می‌تواند کیفیت کاغذ را بهبود ببخشد و افزودن آن به سوسپانسیون خمیر، خواص مکانیکی کاغذ بازیافتی را افزایش می‌دهد [۵]. در تحقیقات به امکان تولید نانوالیاف سلولزی از هر منبع سلولزی اشاره‌شده است؛ که معمولاً این نانوالیاف تهیه‌شده به‌صورت سوسپانسیون بوده و می‌توان آن‌ها را در ابتدای فرآیند تولید کاغذ به خمیرکاغذ افزود یا به‌عنوان پوشش روی کاغذ نهایی اعمال کرد. نانوالیاف سلولزی همچنین می‌تواند با الیاف، پرکننده‌ها، پلیمرهای کاتیونی و سایر مواد افزودنی مخلوط شده و ویژگی‌های کاغذ را اصلاح نماید. ازجمله مزایای ارائه‌شده برای استفاده از نانوالیاف سلولزی، کاهش شدت فرایند پالایش مکانیکی خمیرکاغذ و ایجاد آسیب کمتر به الیاف در کنار ارتقاء فرآیند به‌ویژه به هنگام استفاده از الیاف بازیافتی می‌باشد؛ اما در کنار مزایا، کاهش آبگیری یک مشکل و نقطه‌ضعف بزرگ برای استفاده از نانوالیاف سلولزی در سطح صنعتی می‌باشد، اما تحقیقات

اخیر نشان می‌دهد که راه‌حل‌هایی برای این مشکل آزمایش‌شده است [۱۰، ۱۱، ۱۲]. به‌طورکلی هرچند تاکنون ساخت نانوالیاف سلولزی از منابع مختلف بررسی‌شده است ولی امکان‌سنجی ساخت این نانوالیاف از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر و بررسی تأثیرگذاری آن پس از افزودن به خمیرکاغذ تاکنون موردبررسی نبوده است. همان‌طور که می‌دانیم وجود پرکننده فراوان در کنار وقوع پدیده استخوانی شدن در الیاف بازیافتی به‌ویژه الیاف شیمیایی رنگبری شده نظیر الیاف بازیافتی کاغذ چاپ و تحریر می‌تواند بر فرایند تولید نانوالیاف از این منبع و درنتیجه ویژگی و عملکرد این نانوالیاف مؤثر باشد. لذا این تحقیق بر آن است تا امکان تولید نانوالیاف سلولزی از کاغذهای باطله چاپ و تحریر را موردبررسی قرار دهد و عملکرد نانوالیاف حاصله را با بررسی ویژگی‌های مهم مقاومتی و فرآیندی کاغذهای بازیافتی در بوته آزمایش بگذارد.

مواد و روش‌ها

کاغذهای چاپ و تحریر بدون چاپ از سطح شهر نور تهیه گردید. بعد از اندازه‌گیری درصد رطوبت (۸ درصد)، خمیرکاغذ بازیافتی با استفاده از ولی‌بیتر (pH خمیر خنثی) طبق استاندارد TAPPI T 200 sp-01 تهیه گردید [۱۳]. درجه روانی خمیر طبق استاندارد TAPPI T 227 om-99 با استفاده از دستگاه CSF tester تعیین و خمیرکاغذ تهیه‌شده جهت انجام تیمارها در اتاق خنک نگهداری شد [۱۴]. همچنین میزان خاکستر (پرکننده) این خمیرکاغذ به کمک استاندارد TAPPI T 211 om-02 تعیین گردید [۱۵]. جهت تهیه نانوالیاف سلولزی، قسمتی از الیاف کاغذ چاپ و تحریر بازیافتی مرحله قبل، روی غربال مش ۲۰۰ شستشو داده شدند تا الیاف بدون نرمه و پرکننده حاصل شوند. نتایج اندازه‌گیری خاکستر نشان داد که میزان پرکننده به حدود ۴/۷۴ درصد رسیده است. سپس در آزمایشگاه شرکت نانو نوین پلیمر در اولین تلاش سعی شد تا از الیاف بازیافتی با درصد خشکی ۱ درصد، بدون هیچ‌گونه پیش تیماری و صرفاً با نیروی مکانیکی سوپر آسیاب دیسکی مدل MKCA6-2; Masuko Co. ساخت ژاپن نانوالیاف تهیه شود که ناموفق بود. لذا برای موفقیت در تولید نانوالیاف، یک مرحله پیش تیمار هیدرولیز اسیدی ملایم با افزودن اسیدسولفوریک خالص با درصد وزنی ۸ درصد نسبت به الیاف به سوسپانسیون الیاف با درصد خشکی ۱ درصد در ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت انجام گرفت و سپس ۳ مرحله عبور الیاف تیمار شده از دستگاه سوپر آسیاب دیسکی ساخت کشور ژاپن، فرآیند تولید نانوالیاف به انجام رسید. ویژگی‌های نانو بودن این الیاف در بعد قطر آن‌ها به کمک آزمون میکروسکوپ الکترونی عبوری یا TEM (Transmission Electron Microscope) در دستگاه Philips EM 208S TEM ساخت کشور آمریکا موردبررسی قرار گرفت. همچنین برای نمایش بهتر الیاف بازیافتی و نانوالیاف، از رنگ‌آمیزی آن‌ها و مشاهده الیاف و نانوالیاف رنگ‌آمیزی شده با سفرانین در زیر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۱۰۰ و ۴۰۰ استفاده گردید. سپس عملکرد این نانوالیاف در تقویت ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بازیافتی، در سطوح مصرف صفر (تیمار شاهد)، ۳، ۶ و ۹ درصد (بر اساس وزن خشک خمیرکاغذ) بررسی شد. بدین منظور، برای همگن شدن و بازتر شدن ساختار نانوالیاف در ابتدا این الیاف به مدت ۲ دقیقه با دور همزن ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به هم زده‌شده و به خمیرکاغذ بازیافتی اضافه گردید. بعد از افزوده شدن نانوالیاف به خمیرکاغذ بازیافتی، مخلوط حاصل در دور همزن ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه اختلاط گردیدند. وضعیت آبگیری از خمیرکاغذ در تیمارها به کمک استاندارد TAPPI T 227 om-99 تعیین گردیدند [۱۴]. در پایان کاغذهای ۶۰ گرمی تهیه و ویژگی‌های شاخص مقاومت به کشش طبق استاندارد T TAPPI 494 om-01 و شاخص مقاومت به پاره شدن طبق استاندارد TAPPI T 414 om-98 و ویژگی‌های نوری مثل روشنی و ماتی طبق استاندارد TAPPI T 425 om-01 اندازه‌گیری شد [۱۶، ۱۷، ۱۸].

نتایج و بحث

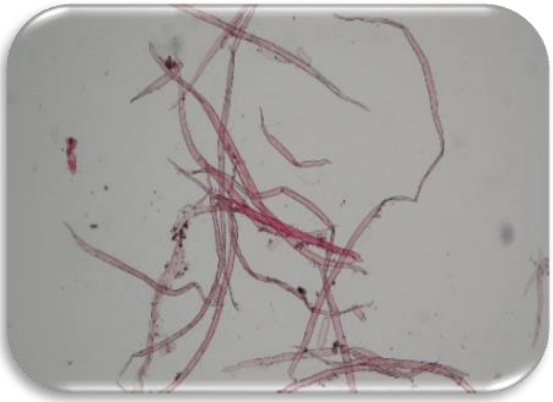
اندازه‌گیری خاکستر

قبل از تولید کاغذ و نانوالیاف سلولزی، میزان درصد خاکستر (پرکننده) الیاف کاغذ چاپ و تحریر بازیافتی، با توجه به استاندارد TAPPI T 211 om-02 در دمای ۵۲۵

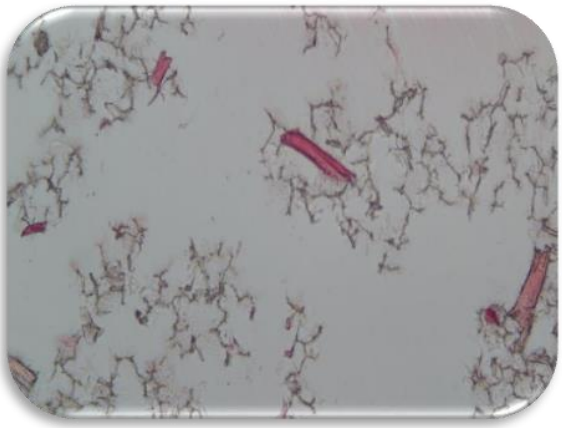
درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ ساعت در کوره آزمایشگاه تعیین شد؛ که بر اساس آزمایش‌ها درصد خاکستر الیاف کاغذ چاپ و تحریر بازیافتی ۱۶/۲۸ درصد اندازه‌گیری شد؛ اما به‌منظور تولید نانو الیاف سلولزی با حداقل مقدار خاکستر، قسمتی از کاغذ چاپ و تحریر بازیافتی بر روی غربال مش ۲۰۰ شستشو داده شد تا حداکثر میزان نرمه آن خارج گردد [۱۵]. سپس میزان درصد خاکستر (پرکننده) خمیر بازیافتی شستشو داده‌شده ۴/۷۴ درصد برآورد شد.

بررسی ساختار الیاف و نانو الیاف سلولزی به کمک میکروسکوپ نوری

جهت مشاهده بهتر طول و قطر الیاف خمیرکاغذ بازیافتی چاپ و تحریر و همچنین نانوالیاف سلولزی تهیه‌شده، تصاویر میکروسکوپی رنگ‌آمیزی شده با سفرانین در بزرگ‌نمایی ۱۰۰ برابر و ۴۰۰ برابر تهیه گردیدند (شکل ۱ و ۲). تصاویر به‌خوبی تغییر ماهیت الیاف پس از نانو شدن را با افزایش سطح و کاهش قطر و طول نشان می‌دهند.



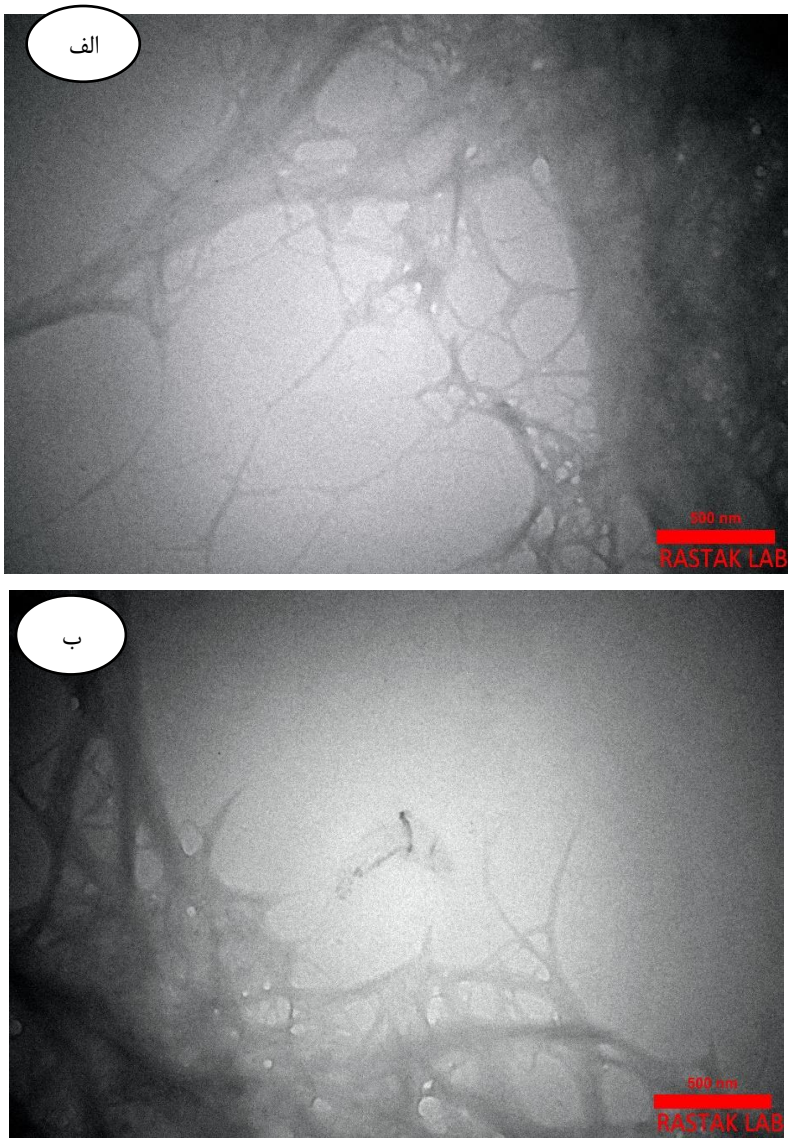
شکل-۱ تصویر الیاف خمیرکاغذ بازیافتی چاپ و تحریر رنگ‌آمیزی شده با سفرانین در بزرگ‌نمایی ۱۰۰ برابر میکروسکوپ نوری



شکل-۲ تصویر نانوالیاف تهیه‌شده از خمیرکاغذ بازیافتی چاپ و تحریر رنگ‌آمیزی شده با سفرانین با بزرگ‌نمایی ۴۰۰ برابر میکروسکوپ نوری

بررسی ساختار الیاف و نانو الیاف سلولزی به کمک تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری

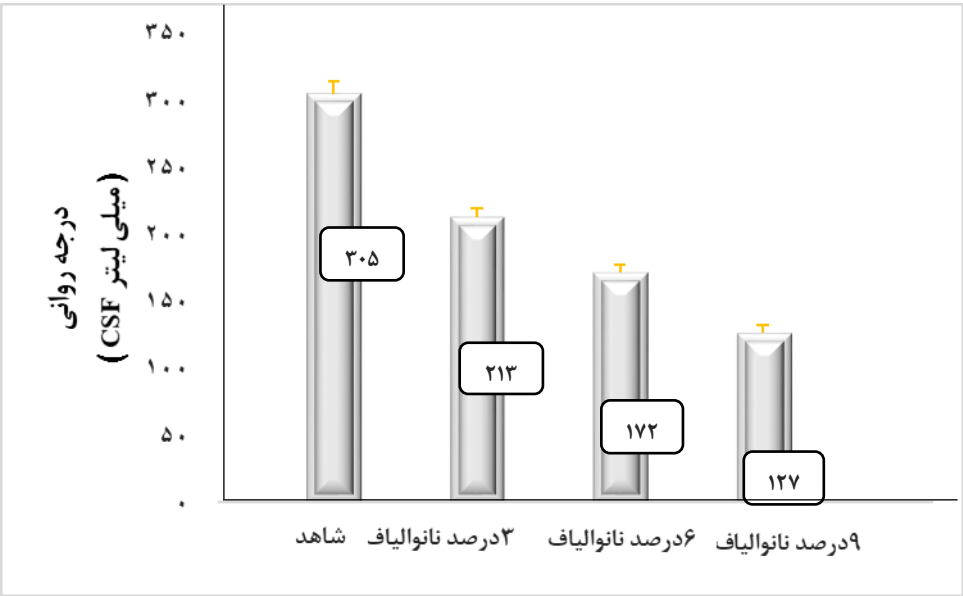
برای بررسی دقیق و تائید تولید نانوالیاف از تکنیک تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده گردید. شکل ۳ (الف و ب) تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) تهیه‌شده از نانوالیاف سلولزی حاصل از الیاف چاپ و تحریر بازیافتی را نشان می‌دهد. در تعریف نانوالیاف، طول آن به‌صورت چند میکرون اما قطر الیاف در حد نانو می‌باشد. با توجه به تصاویر تهیه‌شده، به‌خوبی می‌توان ابعاد نانو قطر الیاف (محدوده ۵۰-۲۵ نانومتر) تصویربرداری شده را مشاهده نمود. بدین ترتیب مشاهده می‌شود که فرایند تولید نانوالیاف سلولزی از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر با موفقیت انجام‌گرفته است.



شکل-۳ (الف و ب)- تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانو الیاف سلولزی با مقیاس ۵۰۰nm

آبگیری

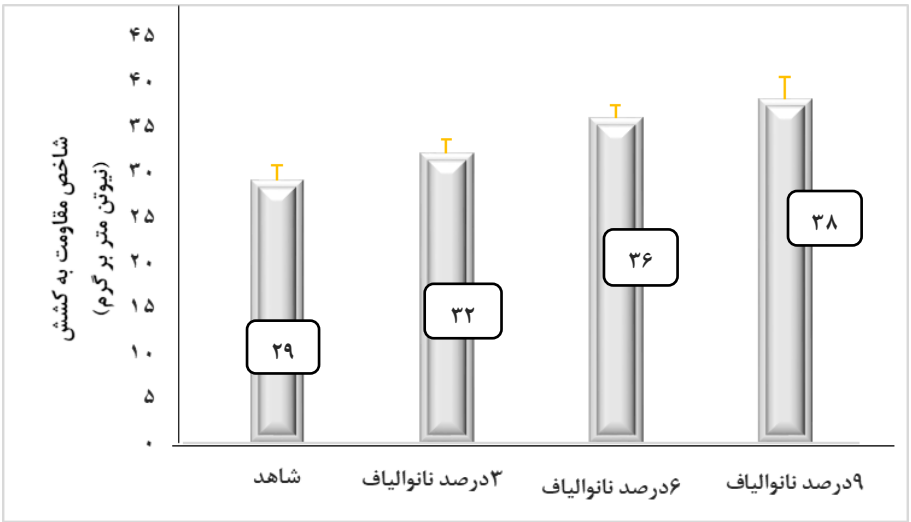
نتایج آزمون آبگیری از خمیرکاغذ بازیافتی در شکل ۴ نشان داده‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند آبگیری با استفاده از نانوالیاف سلولزی سبب کاهش آبگیری نسبت به تیمار شاهد گردیده است و هر چه سطح مصرف نانوالیاف سلولزی افزایش پیداکرده، این روند کاهش آبگیری بیشتر تشدید یافته است. وقوع این روند کاهشی در مقالات مختلفی نیز تائید گردیده است [۱۱، ۱۲]. به نظر می‌رسد، علت این امر، سطح ویژه بالای نانو سلولز و امکان افزایش پیوند هیدروژنی با آب و همچنین بسته شدن سریع منافذ در ورقه الیاف روی توری و درنتیجه ممانعت از خروج سریع‌تر آب از ورقه تر الیاف کاغذ باشد. این نتایج نشان‌دهنده تولید موفق نانوالیاف با عملکردی مؤثر دارد که بسیاری از سایت‌های پیوند هیدروژنی آن (باوجود تولید شدن از الیاف بازیافتی با پیشینه خشک شدن، هم کشیده شدن و تجربه پدیده استخوانی شدن، هم کشیده شده) باز می‌باشند.



شکل-۴ تأثیر تیمارهای اعمال‌شده بر میزان آبگیری از خمیرکاغذ

شاخص مقاومت به کشش

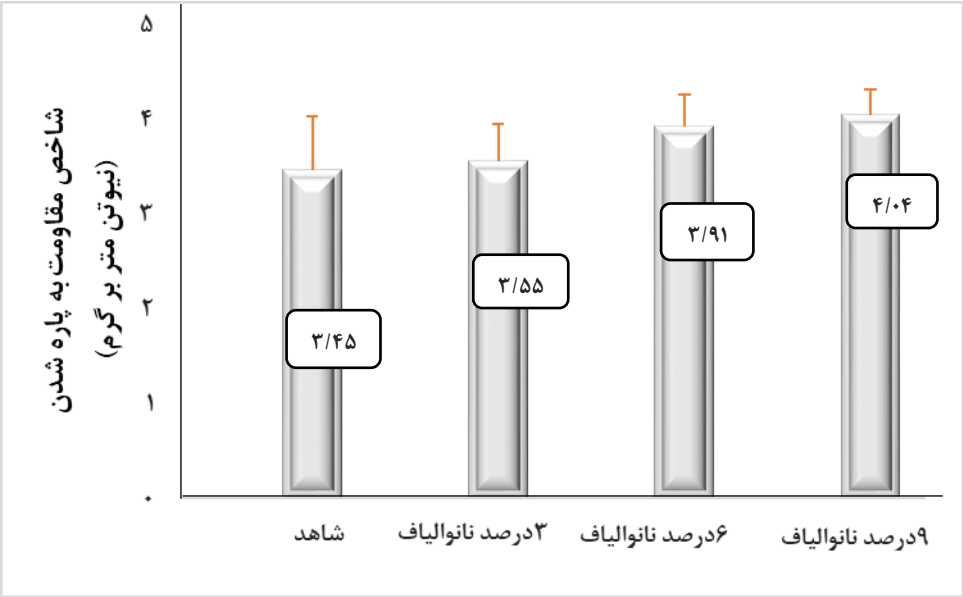
شکل ۵ شاخص مقاومت به کشش را در نمونه‌های تیمارشده با نانوالیاف سلولزی نسبت به تیمار شاهد نشان می‌دهد. شاخص مقاومت به کشش یکی از ویژگی‌های مهم در کاغذسازی می‌باشد که به تعداد و وضعیت پیونددهی بین الیاف وابسته است. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد تیمارهای حاوی نانوالیاف سلولزی باعث افزایش شاخص مقاومت به کشش نسبت به تیمار شاهد شده‌اند. شاخص مقاومت به کشش در نمونه کاغذهای شاهد، ۲۹ نیوتن متر بر گرم بوده که در بین تیمارها، کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. پس از افزودن نانوالیاف سلولزی با افزایش پیونددهی (به علت سطح ویژه زیاد نانوالیاف و امکان ایجاد پیوندهای هیدروژنی زیادتر)، به ترتیب در سطوح ۳، ۶ و ۹ درصد، شاخص مقاومت به کشش ۳۲، ۳۶ و ۳۸ نیوتن متر بر گرم رسیده است. مطالعات مختلفی نیز افزایش مقاومت از طریق افزودن نانوالیاف سلولزی را تائید کردند [۱۲، ۱۹، ۲۰]. همان‌طور که اشاره شد، عملکرد نانوالیاف تهیه‌شده از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر در بهبود پیوندیابی بین الیاف به هنگام تشکیل کاغذ، دلیل دیگری بر موفق بودن فرایند تولید نانوالیاف از منبع الیاف بازیافتی است.



شکل-۵ تأثیر تیمارهای اعمال‌شده بر شاخص مقاومت به کشش در کاغذهای ساخته‌شده

شاخص مقاومت به پاره شدن

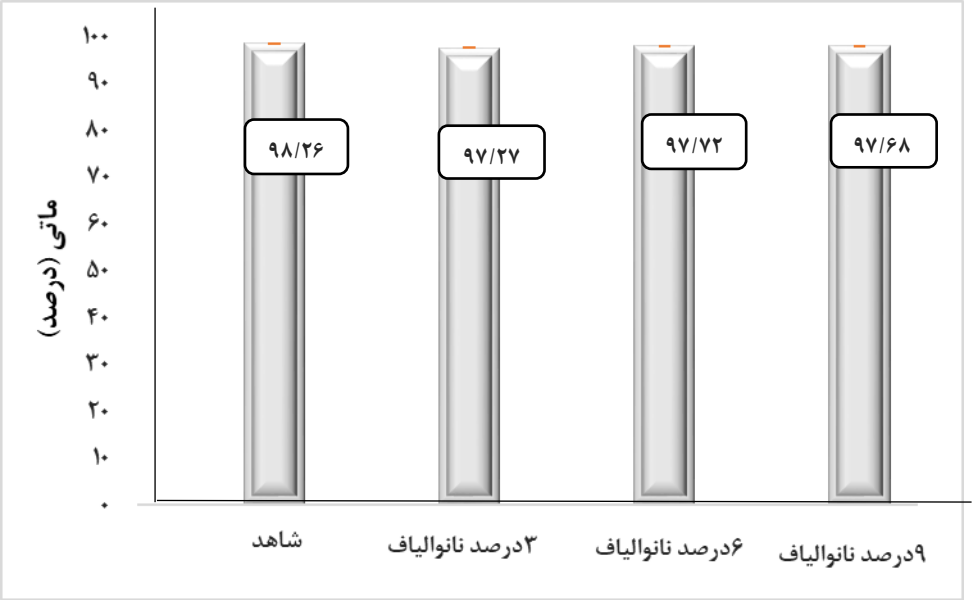
شکل ۶ نشان‌دهنده تأثیر تیمارهای اعمال‌شده بر شاخص مقاومت به پاره شدن در کاغذهای ساخته‌شده می‌باشد. با افزودن نانو الیاف سلولزی در سطح مصرف تعیین‌شده نسبت به خمیر شاهد، شاخص مقاومت به پاره شدن روند افزایشی از خود نشان داده است؛ هرچند این تفاوت آن‌چنان چشمگیر نبوده است. شاخص مقاومت به پاره شدن به‌طورکلی تحت تأثیر سه عامل طول الیاف، مقاومت ذاتی الیاف و وضعیت پیونددهی در ورقه کاغذ می‌باشد. این شاخص بیشتر تحت تأثیر دو عامل اولی می‌باشد. با فرض ثابت در نظر گرفتن دو عامل اول در این تحقیق، می‌توان این افزایش را به تأثیر بهبود پیوندیابی در کاغذ حاصله نسبت داد. نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق نیز در مورد شاخص مقاومت به پاره شدن، حاصل استفاده نانوالیاف سلولزی بوده که با سطح ویژه زیاد و امکان ایجاد پیوندهای هیدروژنی بیشتر، باعث افزایش پیوند یابی بین الیاف شده است. مجدداً نتایج این ویژگی نشان از کیفیت نانوالیاف حاصل از الیاف بازیافتی دارد.



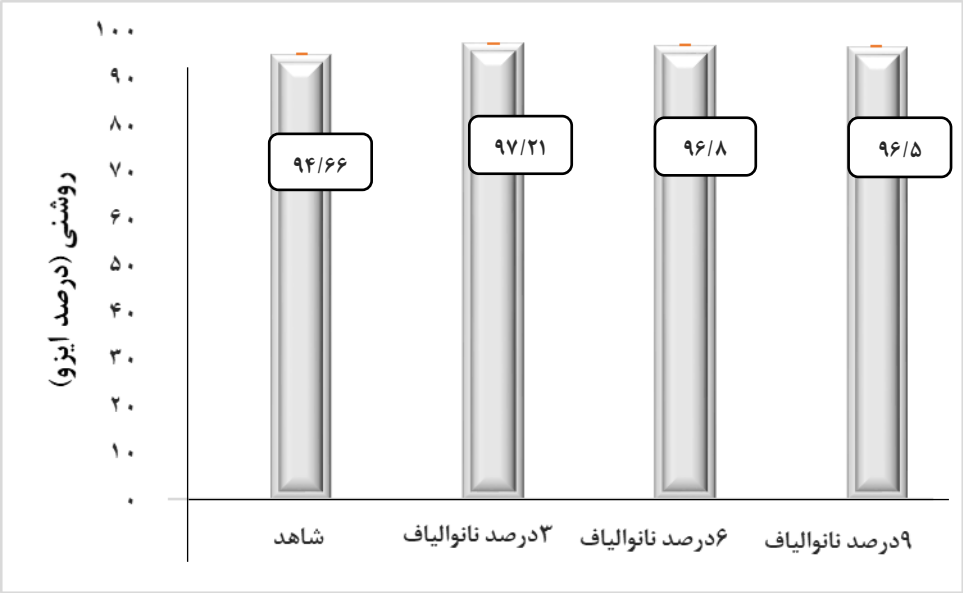
شکل ۶ - تأثیر تیمارهای اعمال‌شده برشاخص مقاومت به پاره شدن در کاغذهای ساخته‌شده

ماتی و روشنی کاغذ

نتایج آزمون ماتی کاغذ تولیدی حاصل از خمیرکاغذ بازیافتی در شکل ۷ نشان داده‌شده است. ماتی رنگ یکی از ویژگی‌های مهم کاغذ می‌باشد که تحت تأثیر عوامل مختلفی می‌باشد. حضور و درصد پرکننده، درصد نرمه الیاف، وضعیت پیوندیابی ورقه ازجمله این موارد است. همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود با افزایش مصرف نانوالیاف سلولزی نسبت به نمونه شاهد تغییری در ماتی کاغذ ساخته‌شده مشاهده نمی‌شود. این در صورتی است که انتظار می‌رفت، افزودن نانوالیاف سلولزی می‌تواند با بهبود پیوندیابی بین الیاف، تأثیر منفی بر ماتی کاغذ ساخته‌شده بگذارد. احتمال می‌رود، براثر عملکرد نانو الیاف و افزایش احتمالی ماندگاری نرمه‌ها و به‌ویژه پرکننده‌های درون خمیر بازیافتی در ساختار کاغذ نهایی، انعکاس نور از ورقه افزایش‌یافته و بدین ترتیب اثر بهبود پیوندیابی توسط نانوالیاف بر کاهش ماتی عملاً خنثی گردد. همچنین شکل ۸ تأثیر تیمارهای اعمال‌شده بر روشنی در کاغذهای ساخته‌شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزودن نانوالیاف سلولزی نسبت به تیمار شاهد، تغییری در روشنی کاغذ ۶۰ گرمی ساخته‌شده مشاهده نمی‌شود. به‌طورکلی ازآنجاکه نانوالیاف مزبور از جنس خود کاغذ نهایی می‌باشند، عدم تأثیر افزودن آن‌ها بر روشنایی کاغذ که تابعی از جذب نور در طول‌موج ۴۵۷ نانومتر است، قابل‌درک است.



شکل-۷ تأثیر تیمارهای اعمال‌شده بر ماتی در کاغذهای ساخته‌شده



شکل-۸ تأثیر تیمارهای اعمال‌شده بر روشنی در کاغذهای ساخته‌شده

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی بر اساس آنچه بیان شد افزودن نانوالیاف سلولزی حاصل از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر بر ویژگی-های مقاومتی اندازه‌گیری شده، تأثیر مثبتی داشته به‌طوری‌که با افزایش مصرف نانوالیاف روند افزایش صعودی بوده است. همچنین تیمار الیاف بازیافتی با نانوالیاف حاصل از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر، آبگیری از ورقه الیاف را کاهش داده است. این نتایج نشان از قابلیت و کیفیت نانوالیاف تولیدی از الیاف بازیافتی دارد و می‌توان از الیاف بازیافتی ارزان‌قیمت برای تولید محصول ارزشمندی باارزش افزوده بالاتری مانند نانوالیاف سلولزی بهره برد. همچنین جالب است که برخلاف انتظار افزودن نانوالیاف تأثیری بر ماتی کاغذهای تولیدی نهایی نداشته است که برای کاربرد آن‌ها در محصولات چاپ و تحریر نکته بسیار مثبتی محسوب می‌شود. به‌طور حتم این اطلاعات پایه‌ای می‌تواند مبنای مناسبی برای تحقیقات بعدی در استفاده از نانوالیاف حاصل از کاغذهای باطله باشد.

منابع

[1] Mohebby Gargari, R., Shamsian, M., and Sanei Sistani, A., 2015. Paper recycling as a practical approach for sustainable development of the environment, natural resources and the preservation of national assets. International conference on sustainable development, strategies and challenges with a focus on Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism. 24-26 Feb. Tabriz, Iran. (In Persian)

[2] Ashori, A., Marashi, M., Ghasemian, A., & Afra, E., 2013. Utilization of sugarcane molasses as a dry-strength additive for old corrugated container recycled paper. Composites Part B: Engineering, 45(1), 1595-1600.

[3] Khosravani, A., & Rahmaninia, M., 2013. The potential of nanosilica–cationic starch wet end system for applying higher filler content in fine paper. BioResources, 8(2), 2234-2245.

[4] Viana, L. C., Potulski, D. C., Muniz, G. I. B. D., Andrade, A. S. D., & Silva, E. L. D., 2018. Nanofibrillated cellulose as an additive for recycled paper. Cerne, 24(2), 140-148.

[5] Balea, A., Sanchez-Salvador, J. L., Monte, M. C., Merayo, N., Negro, C., & Blanco, A., 2019. In Situ Production and Application of Cellulose Nanofibers to Improve Recycled Paper Production. Molecules, 24(9), 1800.

[6] Nemati, M., Seyyedmohammadi, N., Samariha, A., & Shakouri, J. S., 2011. Studying the effect of chemical additives on strength properties of recycled paper. J. Basic. Appl. Sci. Res, 1, 2314-2318.

[7] Rahmaninia, M., & Khosravani, A., 2015. Improving the paper recycling process of old corrugated container wastes. Cellulose Chemistry and Technology, 49(2), 203-208.

[8] Ghasemian, A., Ghaffari, M., & Ashori, A., 2012. Strength-enhancing effect of cationic starch on mixed recycled and virgin pulps. Carbohydrate Polymers, 87(2), 1269-1274.

[9] Chirayil, C. J., Mathew, L., & Thomas, S., 2013. Review of recent research in Nano cellulose preparation from different lignocellulosic fibers. Reviews on advanced materials science, 37, 20-28.

[10] Sayadi Milani, H., Rahmaninia, M., and Mauret, E., 2019. Feasibility of drainage improvment in recycled fibers containing nanofibers using chitosan / zeolite. National Conference on Health and Environment. June26-27 Ardabil, Iran. (In Persian)

[11] Boufi, S., Gonzalez, I., Delgado-Aguilar, M., Tarres, Q., Pèlach, M. À., & Mutje, P., 2016. Nanofibrillated cellulose as an additive in papermaking process: A review. Carbohydrate polymers, 154, 151-166.

[12] Yousefhashemi, S. M., Khosravani, A., & Yousefi, H., 2019. Isolation of lignocellulose nanofiber from recycled old corrugated container and its interaction with cationic starch–nanosilica combination to make paperboard. Cellulose, 26(12), 7207-7221.

[13] Standard test method for evaluating Laboratory beating of pulp (Valley beater method). TAPPI Test Method, T 200 sp-01, 2007

[14] Standard test method for evaluating Freeness of pulp (Canadian standard method). TAPPI Test Method, T 227 om-04, 2007

[15] Standard test method for evaluating ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. TAPPI Test Method, T 211 om-02, 2007

[16] Standard test method for evaluating tensile properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus). TAPPI Test Method, T 494 om-01, 2007.

[17] Standard test method for evaluating Internal tearing resistance of paper. TAPPI Test Method, T 414 om-04, 2007

[18] Standard test method for evaluating Opacity of paper (15/d geometry, illuminant A/2°, 89% reflectance backing and paper backing). TAPPI Test Method, TAPPI Test Method, T 425 om-01, 2007

[19] Osong, S. H., Norgren, S., & Engstrand, P., 2016. Processing of wood-based microfibrillated cellulose and nanofibrillated cellulose, and applications relating to papermaking: a review. Cellulose, 23(1), 93-123.

[20] Balea, A., Merayo, N. O. E. M. Í., Seara, M. A. R. Í. A., Fuente, E. L. E. N. A., Blanco, A., & Negro, C., 2016. Effect of NFC from organosolv corn stalk pulp on retention and drainage during papermaking. Cellulose Chem. Technol, 50(3-4), 377-383.

Cellulose nanofibers made from waste printing and writing papers and its effect on the properties of recycled paper

Abstract

In the current research, the feasibility of producing cellulose nanofibers from waste printing and writing paper and its potential for application as an additive in recycled pulp was considered. Although the origin of pulps for producing nanofibers were recycled ones, but they were hardly converted into nanofibers by mechanical force after mild acid pretreatment by applying 8% wt. of pure sulfuric acid relative to amounts of dry fibers in the pulp suspension with 1% consistency at 70°C for 1 hour. Analysis of nanofibers by transmission electron microscopy showed the successful production of fibers with nano-diameter (25-50 nanometer). Then, the ability of this product to improve the strength properties of recycled paper and also its effect on drainage of pulp (as one of the most important process properties) were investigated. In this regard, these cellulose nanofibers were added to the recycled fibers at 0, 3, 6 and 9% consumption levels (based on dry weight of pulp) with 1500 rpm agitation for 10 minutes. Results showed that all dosages of cellulose nanofibers had a positive effect on strength properties. The highest dosage of nanofibers improved the tensile and tear indices 31% and 17%, respectively. Also, nanofibers application didn't change the opacity and brightness of the produced sheets. In addition, pulp drainage was decreased significantly by applying nanofibers. The results of current study showed the potential of nanofibers produced from recycled fibers for improving the properties of final papers, especially the mechanical ones and more aspects can be considered deeply in future investigations.

Keywords: Recycled fibers, Cellulose nanofibers, Resistance properties, Drainage.

R. Najideh[1]
M. Rahmaninia[2*]
A. Khosravani[3]

[1] M.Sc. Student, Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources, Wood and Paper Science and Technology Department, Iran

[2] Associate Professor, Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources, Wood and Paper Science and Technology Department, Iran

[3] Associate Professor, Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources, Wood and Paper Science and Technology Department, Iran

Corresponding author:
rahmaninia@modares.ac.ir

Received: 2020/11/23
Accepted: 2021/03/20