

نانوالیاف سلولزی 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 خمیر کاغذ 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 خمیر کاغذ)، در دور همزن ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه به الیاف بازیافتی افزوده گردید. نتایج نشان داد نانوالیاف سلولزی افزوده‌شده به خمیر کاغذ 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 بر اثر افزودن نانوالیاف تغییری نکرده است. به‌علاوه آبگیری از ورقه الیاف بر اثر 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

سطح کره خاکی موردتوجه قرار گرفته است. امروزه بازیافت کاغذ امری مرسوم است که علاوه بر پاسخگویی به دغدغه‌های زیست‌محیطی، از نظر اقتصادی نیز حائز اهمیت گردیده است. در واقع افزایش تقاضای محصولات سلولزی،

توسعه پایدار از جمله 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

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 مورد توجه قرار گرفته 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 رشته‌مانند 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 مورد استفاده قرار داد. با توجه به صنعت کاغذسازی، نانوالیاف سلولزی می‌تواند کیفیت کاغذ را بهبود بخشد 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 اشاره شده است؛ که معمولاً این نانوالیاف تهیه شده به‌صورت سوسپانسیون بوده و می‌توان آن‌ها را در ابتدای فرآیند تولید کاغذ به خمیر کاغذ 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. از جمله مزایای ارائه شده برای استفاده از نانوالیاف سلولزی، کاهش شدت فرایند پالایش مکانیکی خمیر کاغذ و ایجاد آسیب کمتر به الیاف در کنار ارتقاء فرآیند به‌ویژه به هنگام استفاده از الیاف بازیافتی می‌باشد؛ اما در کنار مزایا، کاهش آگیری یک مشکل و نقطه ضعف بزرگ برای استفاده از نانوالیاف سلولزی در سطح صنعتی می‌باشد، اما تحقیقات

افزایش جمعیت و همچنین افزایش تنوع کاربرد این‌گونه محصولات از یک طرف 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 غیرقابل چشم‌پوشی 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 کاغذسازی می‌کنند، به طوری که امروزه در بسیاری از کشورهای جهان، صنعت کاغذ شدیداً وابسته به استفاده از خمیر کاغذهای 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 خمیر کاغذ است [۶]. با این وجود می‌توان اظهار داشت که ویژگی‌های خمیر الیاف بازیافتی در طی فرآوری مجدد کاهش می‌یابد، در نتیجه 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. از آنجاکه 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]. از جمله مواد افزودنی متداول مقاومت خشک و تر می‌توان به نانوالیاف سلولزی، نشاسته کاتیونی، پلی وینیل الکل، پلی آکریل آمید اصلاح شده، رزین‌های پلی آمیدامین اپی کلروهیدرین، کربوکسی متیل سلولز (CMC)، کایتوزان و

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 ساخت کشور آمریکا مورد بررسی 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 خمیر کاغذ) 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 زده شده و به خمیر کاغذ بازیافتی اضافه گردید. بعد از افزودن شدن نانوالیاف به خمیر کاغذ بازیافتی، مخلوط حاصل در دور همزن ۱۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه اختلاط گردیدند. وضعیت آگیری از خمیر کاغذ 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 TAPPI T 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

آخر نشان می‌دهد که راه‌حلهایی برای این مشکل آزمایش شده است [۱۰، ۱۱، ۱۲]. به‌طور کلی هرچند تاکنون ساخت نانوالیاف سلولزی از منابع مختلف بررسی شده است ولی امکان‌سنجی ساخت این نانوالیاف از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر و بررسی تأثیرگذاری آن پس از افزودن به خمیر کاغذ تاکنون مورد بررسی 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 در نتیجه 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 مورد بررسی قرار دهد و عملکرد نانوالیاف حاصله را با بررسی ویژگی‌های مهم مقاومتی و فرآیندی کاغذهای بازیافتی در بوته آزمایش بگذارد.

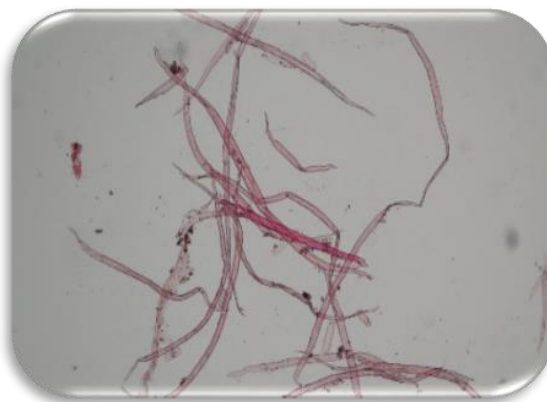
مواد و روش‌ها

کاغذهای چاپ و تحریر بدون چاپ از سطح شهر نور تهیه گردید. بعد از اندازه‌گیری درصد رطوبت (۸ درصد)، خمیر کاغذ بازیافتی با استفاده از ولی‌بیتتر (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 خمیر کاغذ تهیه‌شده جهت انجام تیمارها در اتاق خنک نگهداری شد [۱۴]. همچنین میزان خاکستر (پرکننده) این خمیر کاغذ 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

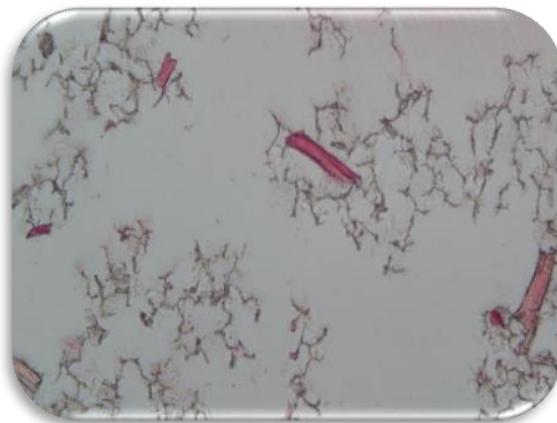
بررسی ساختار الیاف و نانو الیاف سلولزی به کمک میکروسکوپ نوری

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

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 به منظور 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 داده شده ۴/۷۴ درصد برآورد شد.



شکل ۱- تصویر الیاف خمیرکاغذ بازیافتی چاپ و تحریر رنگ آمیزی شده با سفرائین در بزرگنمایی ۱۰۰ برابر میکروسکوپ نوری

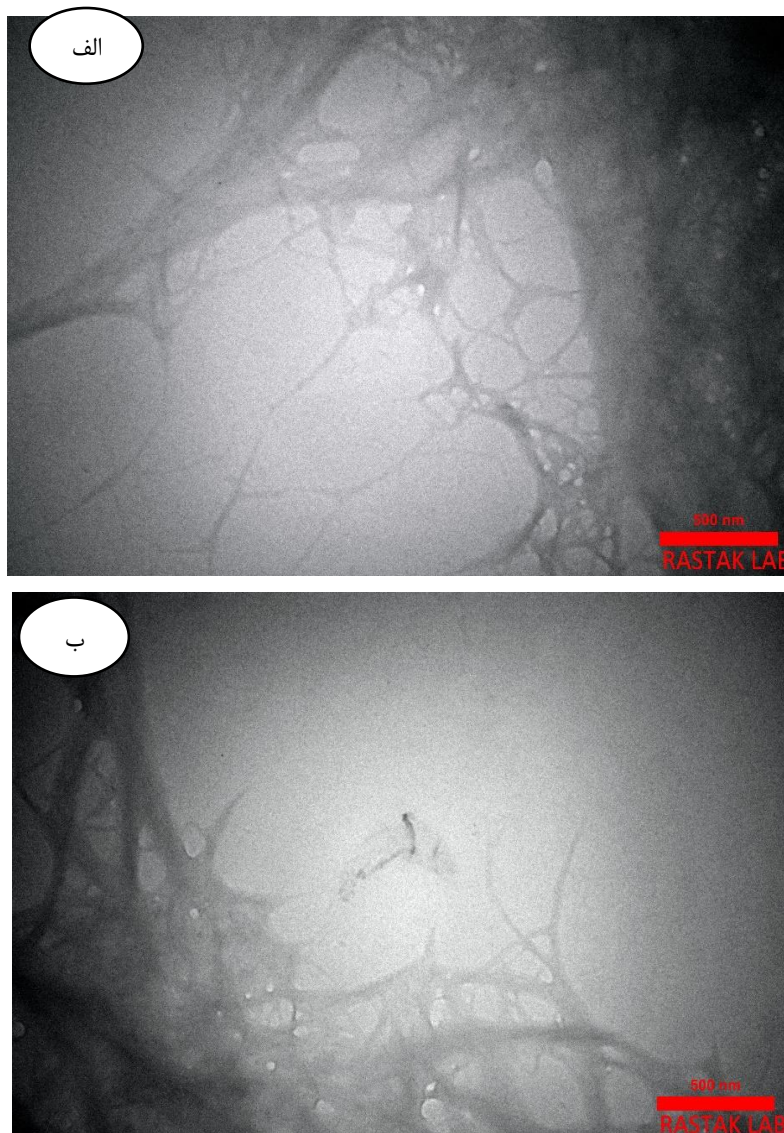


شکل ۲- تصویر نانوالیاف تهیه شده از خمیرکاغذ بازیافتی چاپ و تحریر رنگ آمیزی شده با سفرائین با بزرگنمایی ۴۰۰ برابر میکروسکوپ نوری

نانوالیاف، طول آن به صورت چند میکرون اما قطر الیاف در حد نانو می‌باشد. با توجه به تصاویر تهیه شده، به خوبی 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 انجام گرفته است.

بررسی ساختار الیاف و نانو الیاف سلولزی به

کمک تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی عبوری برای بررسی دقیق و تأیید تولید نانوالیاف از تکنیک تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) استفاده گردید. شکل ۳ (الف و ب) تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) تهیه شده از نانوالیاف سلولزی حاصل از الیاف چاپ و تحریر بازیافتی را نشان می‌دهد. در تعریف



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

سلولز و امکان افزایش پیوند هیدروژنی با آب و همچنین بسته شدن سریع منافذ در ورقه الیاف روی توری و در نتیجه ممانعت از خروج سریع تر آب از ورقه تر الیاف کاغذ باشد. این نتایج نشان دهنده 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.

آبگیری

نتایج آزمون آبگیری از خمیر کاغذ بازیافتی در شکل ۴ نشان داده شده 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 پیدا کرده، این روند کاهش آبگیری بیشتر تشدید یافته است. وقوع این روند کاهش در مقالات مختلفی نیز تأیید گردیده است [۱۱]، [۱۲]. به نظر می‌رسد، علت این امر، سطح ویژه بالای نانو

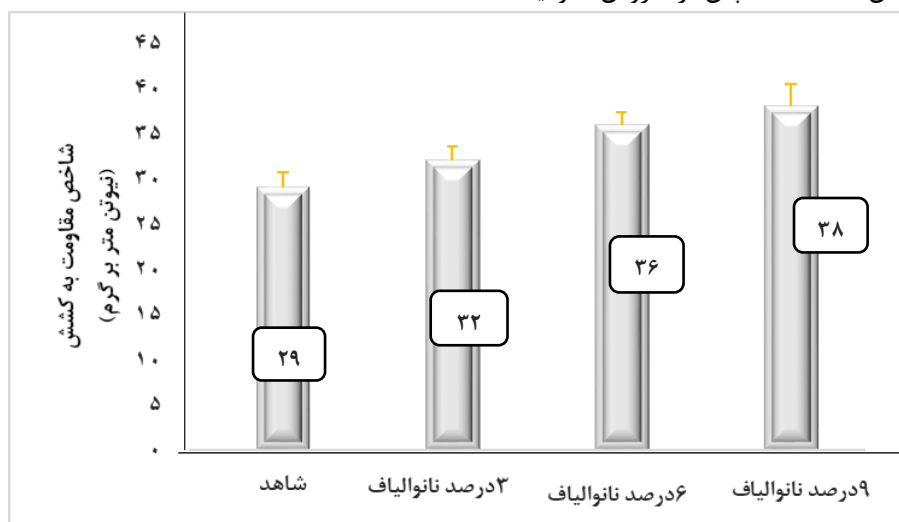


شکل-۴ تأثیر تیمارهای اعمال شده بر میزان آبدگیری از خمیر کاغذ

سلولزی با افزایش پیونددهی (به علت سطح ویژه زیاد نانوالیاف و امکان ایجاد پیوندهای هیدروژنی زیادتیر)، 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 تأیید کردند [۱۲، ۱۹، ۲۰]. همان طور که اشاره شد، عملکرد نانوالیاف تهیه شده 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.

شاخص مقاومت به کشش

شکل ۵ شاخص مقاومت به کشش را در نمونه های تیمار شده با نانوالیاف سلولزی نسبت به تیمار شاهد نشان می دهد. شاخص مقاومت به کشش یکی از ویژگی های مهم در کاغذسازی می باشد که به تعداد و وضعیت پیونددهی بین الیاف وابسته است. همان طور که شکل ۵ نشان می دهد تیمارهای حاوی نانوالیاف سلولزی باعث افزایش شاخص مقاومت به کشش نسبت به تیمار شاهد شده اند. 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

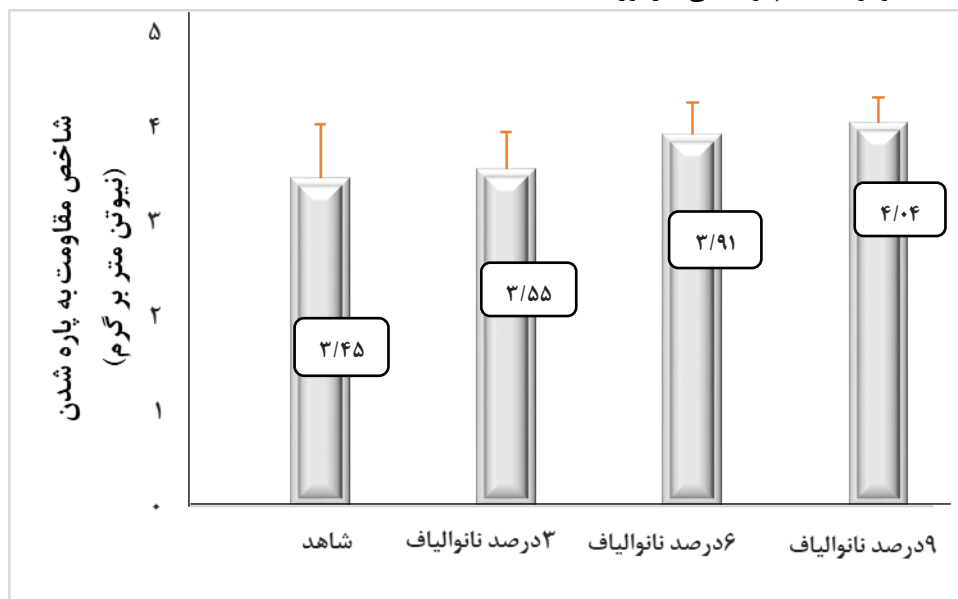


شکل-۵ تأثیر تیمارهای اعمال شده بر شاخص مقاومت به کشش در کاغذهای ساخته شده

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 به دست آمده 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.

شاخص مقاومت به پاره شدن

شکل ۶ نشان‌دهنده تأثیر تیمارهای اعمال شده بر شاخص مقاومت به پاره شدن در کاغذهای ساخته شده می‌باشد. با افزودن نانو الیاف سلولزی در سطح مصرف تعیین شده 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 به‌طور کلی تحت تأثیر سه عامل طول الیاف، مقاومت ذاتی الیاف و وضعیت پیونددهی در ورقه کاغذ

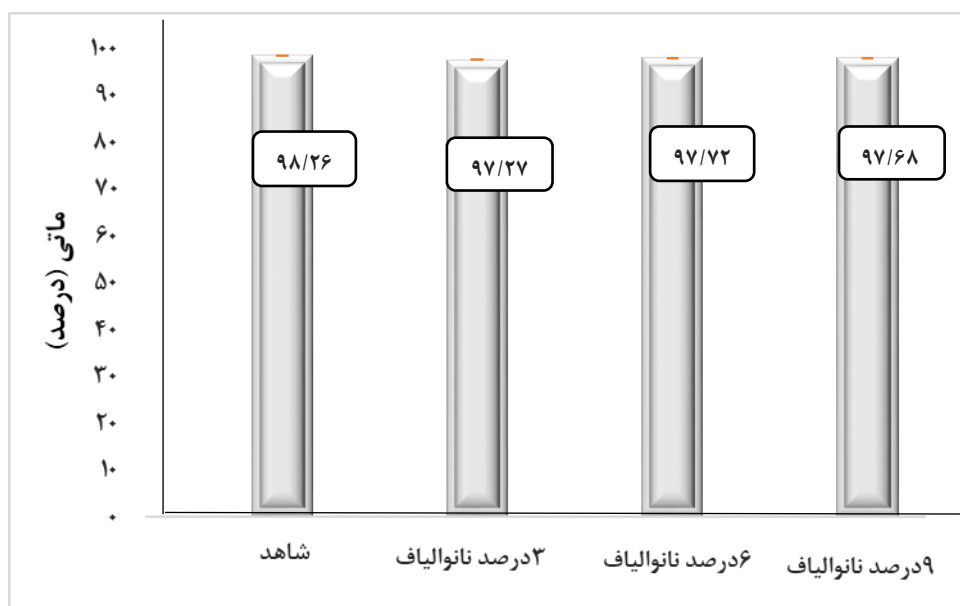


شکل ۶ - تأثیر تیمارهای اعمال شده بر شاخص مقاومت به پاره شدن در کاغذهای ساخته شده

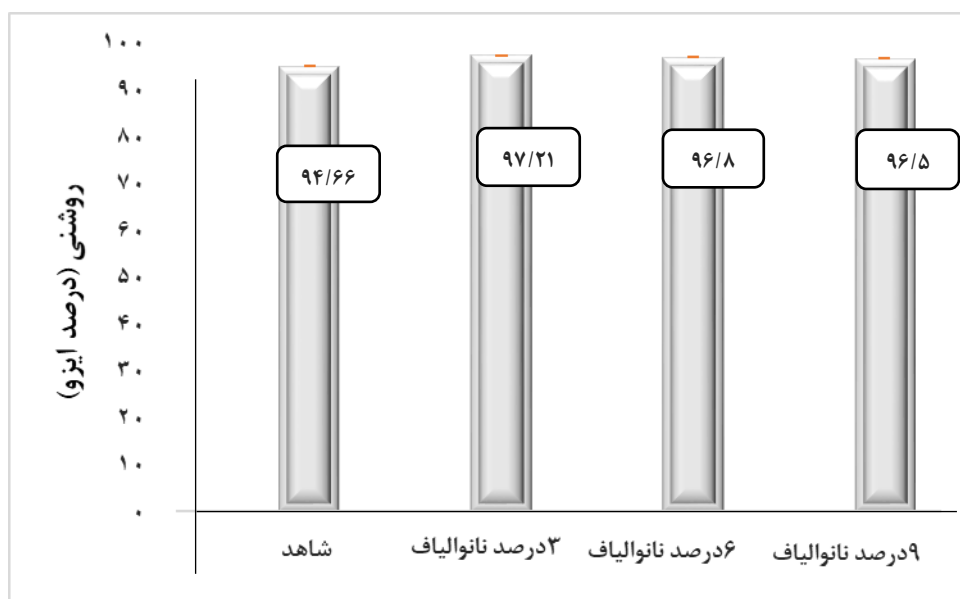
و افزایش احتمالی ماندگاری نرمه‌ها و به‌ویژه پرکننده‌های درون خمیر بازیافتی در ساختار کاغذ نهایی، انعکاس نور از ورقه افزایش یافته و بدین ترتیب اثر بهبود پیوندیابی توسط نانوالیاف بر کاهش ماتی عملاً خنثی گردد. همچنین شکل ۸ تأثیر تیمارهای اعمال شده بر روشنی در کاغذهای ساخته شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزودن نانوالیاف سلولزی نسبت به تیمار شاهد، تغییری در روشنی کاغذ ۶۰ گرمی ساخته شده مشاهده نمی‌شود. به‌طور کلی از آنجاکه نانوالیاف مزبور از جنس خود کاغذ نهایی می‌باشند، عدم تأثیر افزودن آن‌ها بر روشنی کاغذ که تابعی از جذب نور در طول موج ۴۵۷ نانومتر است، قابل درک است.

ماتی و روشنی کاغذ

نتایج آزمون ماتی کاغذ تولیدی حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی در شکل ۷ نشان داده شده 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 از جمله این موارد است. همان‌طور که در شکل زیر مشاهده می‌شود با افزایش مصرف نانوالیاف سلولزی نسبت به نمونه شاهد تغییری در ماتی کاغذ ساخته شده مشاهده نمی‌شود. این در صورتی است که انتظار می‌رفت، افزودن نانوالیاف سلولزی می‌تواند با بهبود پیوندیابی بین الیاف، تأثیر منفی بر ماتی کاغذ ساخته شده بگذارد. احتمال می‌رود، بر اثر عملکرد نانو الیاف



شکل ۷- تأثیر تیمارهای اعمال شده بر ماتی در کاغذهای ساخته شده



شکل ۸- تأثیر تیمارهای اعمال شده بر روشنی در کاغذهای ساخته شده

از الیاف بازیافتی ارزان قیمت برای تولید محصول ارزشمندی با ارزش 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.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بر اساس آنچه بیان شد افزودن نانوالیاف سلولزی حاصل از الیاف بازیافتی چاپ و تحریر بر ویژگی‌های 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، آگیری از ورقه الیاف را کاهش داده است. این نتایج نشان از قابلیت و کیفیت نانوالیاف تولیدی از الیاف بازیافتی دارد و می‌توان

منابع

- [1] Mohebbi 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 improvement in recycled fibers containing nanofibers using chitosan / zeolite. National Conference on Health and Environment. June 26-27 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. Najideh¹
M. Rahmaninia^{2*}
A. Khosravani³

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