

بررسی تاثیر استفاده از نانوسلولز بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی*

جعفر ابراهیم پور کاسمانی^۱، احمد ثمریها^۲

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر نانو سلولز بر مقاومت‌های خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی و کاغذهای حاصل از آن انجام شد. در این تحقیق خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. نانو سلولز در پنج سطح (۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد) نانو سلولز کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی ساخته شد و در نهایت خواص فیزیکی و مکانیکی کاغذهای ساخته شده حاصل و یک سطح تیمار شاهد، بر روی کاغذهای دست‌ساز مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش نانوسلولز مقاومت کششی، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به عبور هوا، روشنی و سفیدی نسبت به نمونه ۰ درصد نانو سلولز به ترتیب ۱۰/۹، ۱۲/۵، ۲۳/۶، ۳/۵ و ۶/۸ درصد افزایش یافت. با افزایش نانوسلولز مقاومت پاره شدن، زبری، ماتی، نسبت به نمونه ۰ درصد نانو سلولز به ترتیب ۱۰/۴، ۱۱/۱، ۰/۶، درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: نانوسلولز، خواص مکانیکی، خواص نوری

* این طرح تحقیقاتی با حمایت مالی باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه انجام گرفته است.

۱- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، سوادکوه، ایران. نویسنده مسول

Email: jafar_kasmani@yahoo.com

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران

مقدمه

استفاده از روش‌های مکانیکی (فرایندهای مختلف پالایش) یا شیمیایی (تیمارهای قلیایی) برای افزایش کیفیت الیاف، تولیدکنندگان را قادر به تولید کاغذ باکیفیت‌تری نموده که ارزش افزوده بیشتری را ایجاد نموده است [۸].

یکی از هدف‌های اصلی کاربرد نانو فیبر سلولز در کاغذ بهبود ویژگی‌های جلوگیری کنندگی آن می‌باشد. از نانو مواد افزودنی می‌توان برای بهبود خواص خمیرکاغذ و کاغذ تهیه شده از الیاف ضعیف‌تر استفاده کرد. ایده استفاده از نانو مواد به منظور افزایش عملکرد کاغذ و مقوا، تمام محدوده خواص و ویژگی‌های کاربردی کاغذ، یعنی از بهبود خواص نوری تا تقویت خواص ممانعتی نسبت به آب‌وهوا و تقویت خواص مکانیکی و مقاومتی را پوشش می‌دهد [۱۱]. اضافه کردن نانو فیبر به کاغذ و مقواهای معمول، تولید محصول لایه‌ای و پوشش‌دهی کاغذ با مواد نانو ساختار قابل انجام است. در این بین نانو مواد زیست پایه، به خصوص نانو مواد پایه سلولزی به سبب خواص ویژه مقاومتی و ایمنی در کاربرد به واسطه زیست‌تخریب‌پذیر بودن اهمیت خاصی دارند [۷]. هنریکسون^۱ و همکاران از نانو فیبریل‌های سلولزی چوب برای تولید نانو کاغذهای سلولزی متخلخل با سختی بالا استفاده کردند. آنها موفق به ساخت نوعی نانو کاغذ با مقاومت کششی ۲۱۴ Mpa شدند که این مقاومت از مقاومت کششی چدن بیشتر و در حد مقاومت کششی فولاد است [۹]. مدنی و همکاران

(۲۰۱۱)، به بررسی جداسازی و حذف الیاف بلند ذرات NFC و تأثیر آن بر مقاومت کششی کاغذ تولیدی از خمیر شیمیایی رنگ‌بری شده پهن‌برگ پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزودن ذرات NFC بدون الیاف بلند در مقایسه با افزودن ذرات بدون تیمار NFC، مقاومت کششی کاغذ تولیدی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد [۱۰]. از آنجایی که استفاده از تقویت‌کننده‌های غیرطبیعی موجب بهبود ناچیز ویژگی‌های مقاومتی کاغذ در قبال افزایش هزینه و مسائل زیست‌محیطی می‌شوند. لاکانی و افرا (۱۳۹۱)، به بررسی اثر مدت‌زمان اختلاط خمیر و سلولز نانو فیبریل شده بر خواص کاغذ پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش مدت‌زمان اختلاط تا حدود ۱ ساعت زمان آبگیری افزایش و نفوذپذیری به هوا کاهش یافته است [۶]. هدف اصلی این تحقیق، بررسی تأثیر نانو سلولز بر خواص کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ شیمیایی مکانیکی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی

خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی رنگ‌بری شده از برج ذخیره‌سازی خمیرکاغذ CMP کارخانه چوب و کاغذ مازندران (با ۷۰ درصد مخلوط کاتین و گرده‌بینه با کیفیت خوب، ۱۵-۵ درصد الیاف بلند رنگ‌بری شده) تهیه و به آزمایشگاه انتقال یافت.

نشاسته کاتیونی

نشاسته کاتیونی با درجه استخلاف ($D.S^2$) ۰/۰۳۵ از شرکت گلوکوزان تهیه شد و در سطح

² Degree of Substitution

¹ Henriksson

به پاره شدن) و خواص نوری شامل (روشنی، ماتی و زردی) به ترتیب با استفاده از استانداردهای T403om-02، T494 om-01، T414 om-04، T809 om-99، T818 آئین نامه TAPPI بر روی کاغذهای دست ساز انجام گرفت.

میکروسکوپ الکترونی روبشی

به منظور بررسی وجود ذرات نانو رس روی سطح کاغذ و الیاف از میکروسکوپ روبشی نوع AIS2100 شرکت Seron Technology، کره استفاده گردید.

طرح آماری

در این تحقیق جامعه آماری از پیش تعیین شده ای وجود نداشت و روش نمونه گیری بصورت تصادفی از نمونه های ساخته شده انجام خواهد شد. در این پژوهش تأثیر عامل متغیر شامل: مقدار نانو سلولز (پنج سطح ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد) به همراه نمونه شاهد بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت. لذا تعداد کل تیمارها با فرمول بندی متفاوت ۶ سطح بود. برای هر آزمون ۳ نمونه مورد اندازه گیری قرار گرفت. جهت پردازش نتایج حاصل از اندازه گیری ها از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۱/۵) استفاده شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده ها از تجزیه واریانس یک طرفه و جهت مقایسه میانگین ها از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج

در این بررسی نانو سلولز در پنج سطح ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد مورد بررسی قرار گرفت. اثر نانو

۱ درصد نسبت به وزن خشک خمیرهای کاغذ استفاده شد. به منظور انحلال پذیر شدن نشاسته در آب، بشر محتوی آب و نشاسته با غلظت ۵ درصد به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد نگهداری شد و در نهایت به منظور پخش و جذب بر روی سطح الیاف به دوغاب خمیر با درصد خشکی ۰/۰۳ درصد افزوده گردید. رطوبت نشاسته کاتیونی ۱۴ درصد، دمای ژله ای شدن ۷۰ درجه سانتی گراد، دمای پخت ۹۰ درجه سانتی گراد، گرانروی ۷۵/۷ (cp) بود

نانو سلولز

نانو سلولز از شرکت نانو نوین پلیمر تهیه شد و در ۵ سطح ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد نسبت به وزن خشک خمیرهای کاغذ استفاده گردید. متوسط قطری نانو مواد کمتر از ۵۰ نانومتر است.

تهیه کاغذهای دست ساز

نانو سلولز در پنج سطح وزنی ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد به همراه نشاسته کاتیونی در سطح ثابت ۱ درصد با خمیر شیمیایی مکانیکی مخلوط شد و سپس اختلاط حاصل بر روی همزن مغناطیسی به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق همزده شدند. ساخت کاغذ دست ساز بر اساس آئین نامه استاندارد شماره SCAN C-26: 67 و با استفاده از دستگاه کاغذ ساز دستی^۱ انجام گرفت. در این تحقیق ساخت کاغذ ۶۰ گرمی ساخته شد.

اندازه گیری خواص کاغذ

آزمون های فیزیکی نظیر (مقاومت به عبور هوا و زبری سطح)، خواص مکانیکی (شاخص های مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن، مقاومت

^۱ Handsheet Maker

سلولز بر زبری، مقاومت به عبور هوا، شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به پاره شدن، شاخص مقاومت به ترکیدن، روشنی و زردی در سطح ۵ درصد معنی دار است. درحالی که بر ماتی، در سطح ۵ درصد معنی دار نیست.

اشکال ۱ تا ۸ اثرات نانو سلولز را بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذهای دست ساز را نشان می دهد.

آزمون دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین زبری را در پنج گروه مختلف قرار داد شکل ۱. همان طوری که در شکل مشاهده می شود با افزایش مقدار نانوسلولز تا ۸ درصد، زبری کاهش می یابد. به نحوی که کمترین زبری مربوط به ۸ درصد نانوسلولز برابر $6/8$ میکرون و بیشترین مقدار آن مربوط به نمونه شاهد برابر $8/1$ میکرون می باشد.

آزمون دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین مقاومت به عبور هوا را در چهار گروه مختلف قرار داد شکل ۲. همان طوری که در شکل مشاهده می شود با افزایش مقدار نانوسلولز تا ۸ درصد، مقاومت به عبور هوا افزایش می یابد. به نحوی که بیشترین مقاومت به عبور هوا مربوط به ۸ درصد نانوسلولز برابر $9/8$ ثانیه و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه شاهد برابر $7/6$ ثانیه می باشد.

آزمون دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین شاخص مقاومت به کشش را در چهار گروه مختلف قرار داد شکل ۳. همان طوری که در شکل مشاهده می شود با افزایش مقدار نانوسلولز تا ۸ درصد، شاخص مقاومت به کشش افزایش می یابد. به نحوی که بیشترین شاخص مقاومت به

کشش مربوط به ۸ درصد نانوسلولز برابر $33/6$ نیوتن متر بر گرم و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه ۰ درصد نانوسلولز برابر $30/3$ نیوتن متر بر گرم می باشد.

آزمون دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین شاخص مقاومت به پاره شدن را در چهار گروه مختلف قرار داد شکل ۴. همان طوری که در شکل مشاهده می شود با افزایش مقدار نانوسلولز تا ۸ درصد، شاخص مقاومت به پاره شدن کاهش می یابد. به نحوی که بیشترین شاخص مقاومت به پاره شدن مربوط به نمونه شاهد برابر $9/8$ نیوتن متر بر گرم و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه ۸ درصد نانوسلولز برابر $8/2$ نیوتن متر بر گرم می باشد.

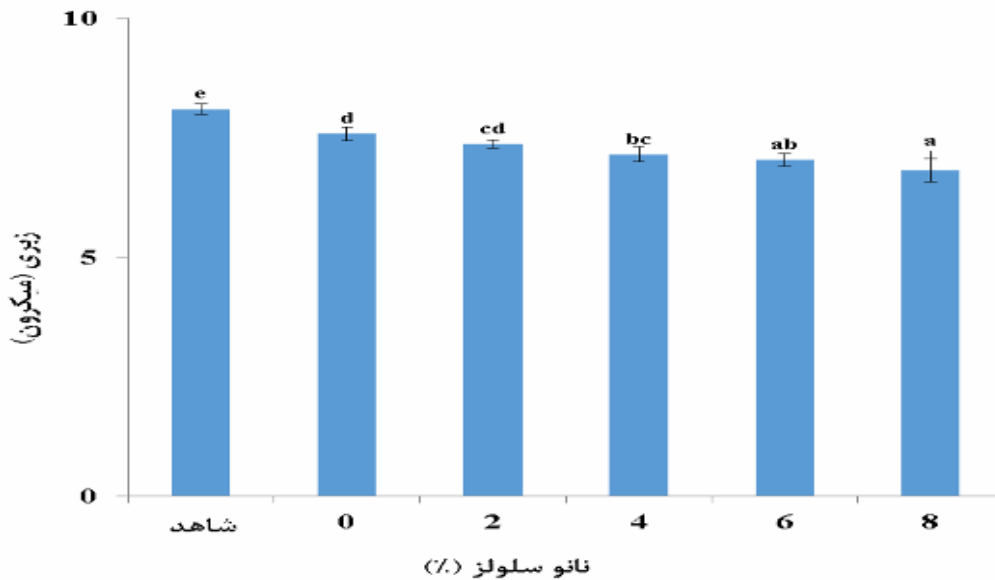
آزمون دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن را در سه گروه مختلف قرار داد شکل ۵. همان طوری که در شکل مشاهده می شود با افزایش مقدار نانوسلولز تا ۸ درصد، شاخص مقاومت به ترکیدن افزایش می یابد. به نحوی که بیشترین شاخص مقاومت به ترکیدن مربوط به نمونه شاهد برابر $1/4$ کیلو پاسکال بر گرم و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه ۰ درصد نانوسلولز برابر $1/2$ کیلو پاسکال بر گرم می باشد.

آزمون دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین روشنی را در پنج گروه مختلف قرار داد شکل ۶. همان طوری که در شکل مشاهده می شود با افزایش مقدار نانوسلولز تا ۸ درصد، روشنی افزایش می یابد. به نحوی که بیشترین روشنی مربوط به نمونه شاهد برابر $65/5$ درصد و

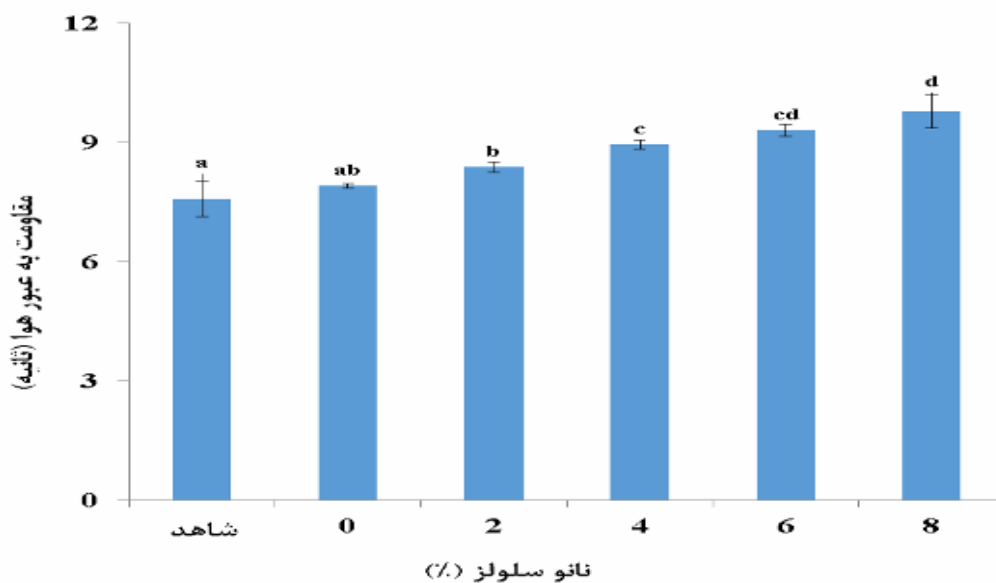
آزمون دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین سفیدی را در سه گروه مختلف قرار داد شکل ۸ همان طوری که در شکل مشاهده می شود با افزایش مقدار نانوسلولز تا ۸ درصد، سفیدی افزایش می یابد. به نحوی که بیشترین سفیدی مربوط به نمونه شاهد برابر ۳۳/۸ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه ۰ درصد نانوسلولز برابر ۳۱ درصد می باشد.

کمترین مقدار آن مربوط به نمونه ۰ درصد نانوسلولز برابر ۶۱/۳ درصد می باشد.

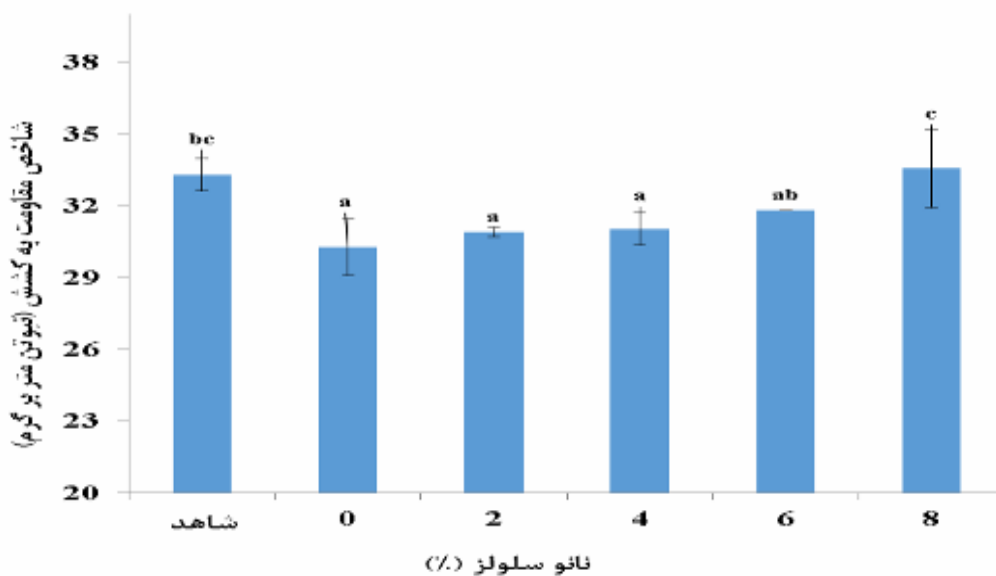
آزمون دانکن، سطوح مختلف مقادیر میانگین ماتی را در یک گروه قرار داد شکل ۷. همان طوری که در شکل مشاهده می شود با افزایش مقدار نانوسلولز تا ۸ درصد، ماتی کاهش می یابد. به نحوی که بیشترین ماتی مربوط به ۴ درصد نانوسلولز برابر ۸۳/۱ درصد و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه ۸ درصد نانوسلولز برابر ۸۲ درصد می باشد.



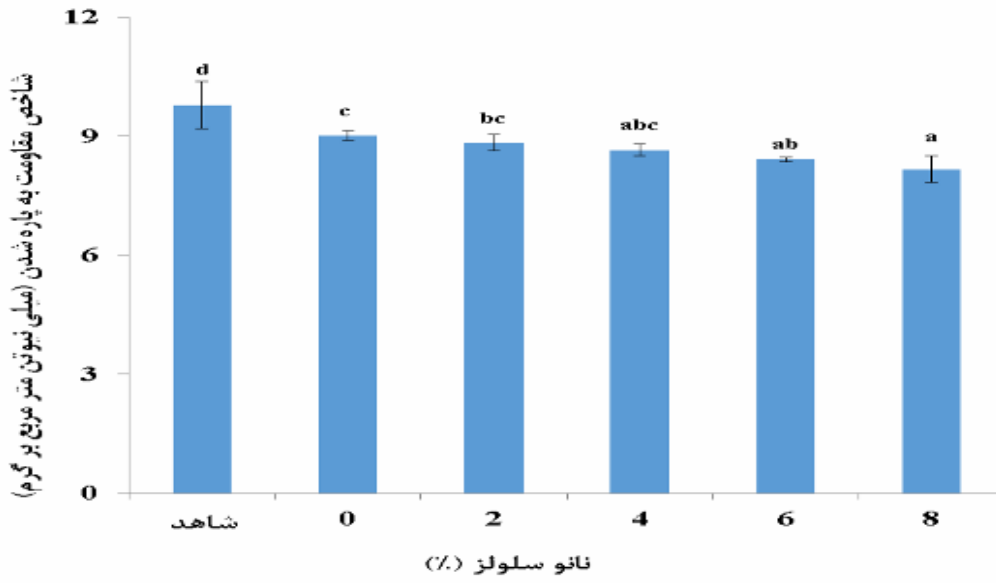
شکل ۱) تأثیر نانوسلولز بر زبری



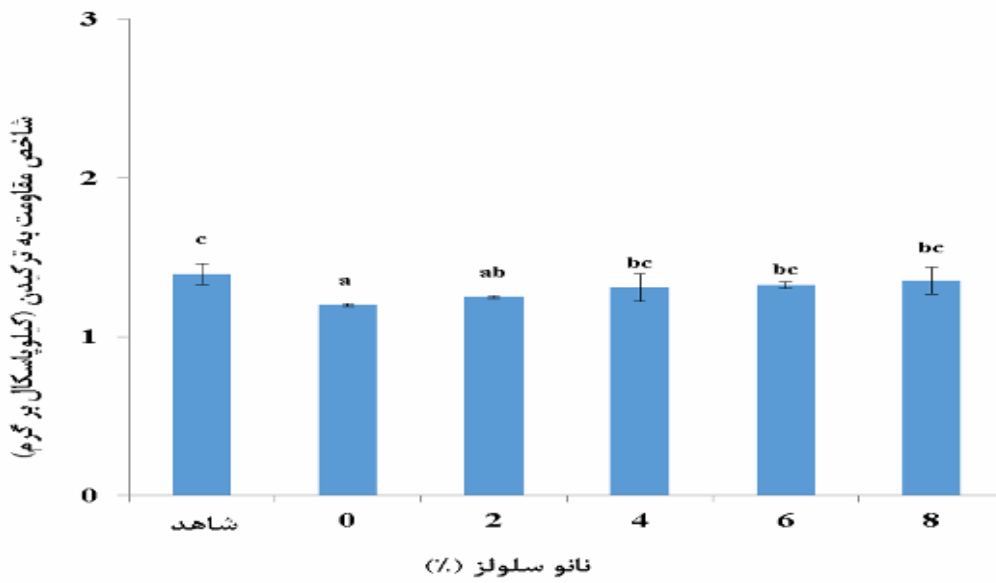
شکل ۲) تأثیر نانوسلولز بر مقاومت به عبور هوا



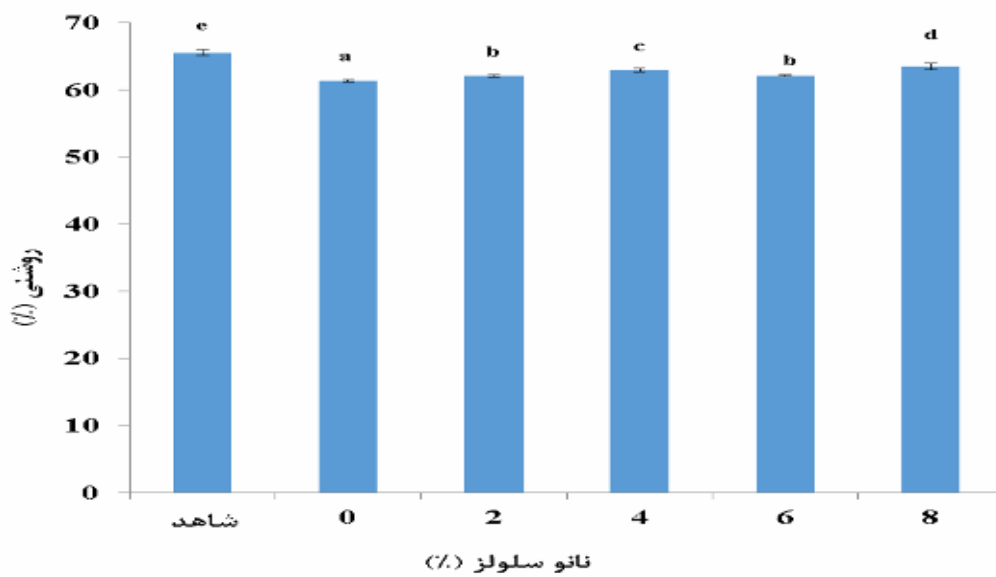
شکل ۳) تأثیر نانوسلولز بر شاخص مقاومت به کشش



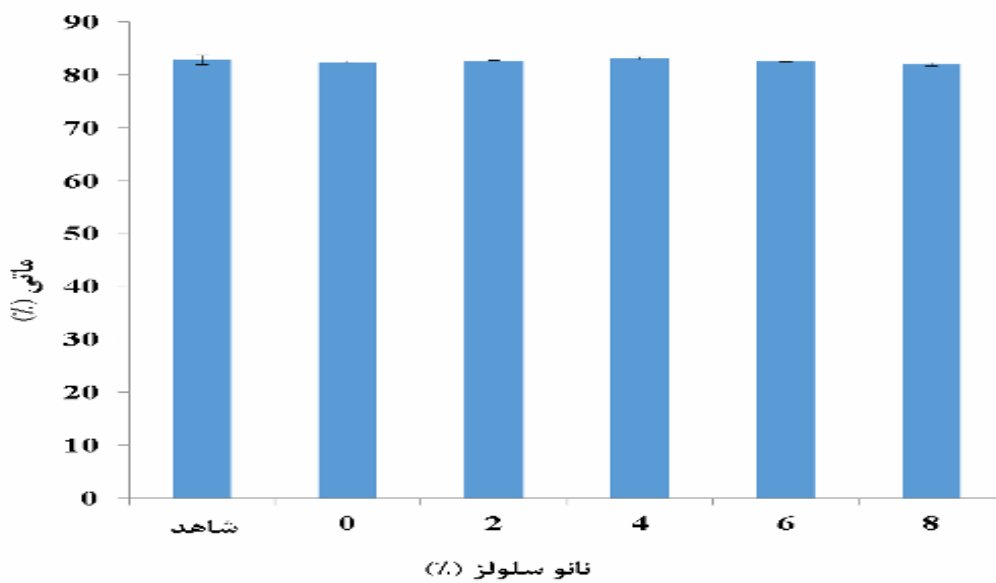
شکل ۴) تأثیر نانوسلولز بر شاخص مقاومت به پاره شدن



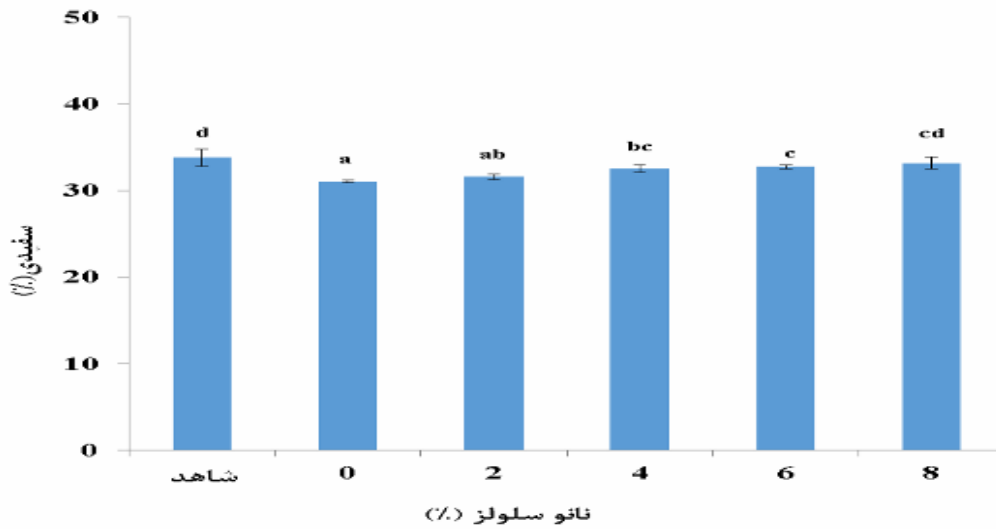
شکل ۵) تأثیر نانوسلولز بر شاخص مقاومت به ترکیدن



شکل ۶) تأثیر نانو سلولوز بر روشنی



شکل ۷) تأثیر نانو سلولوز بر ماتی

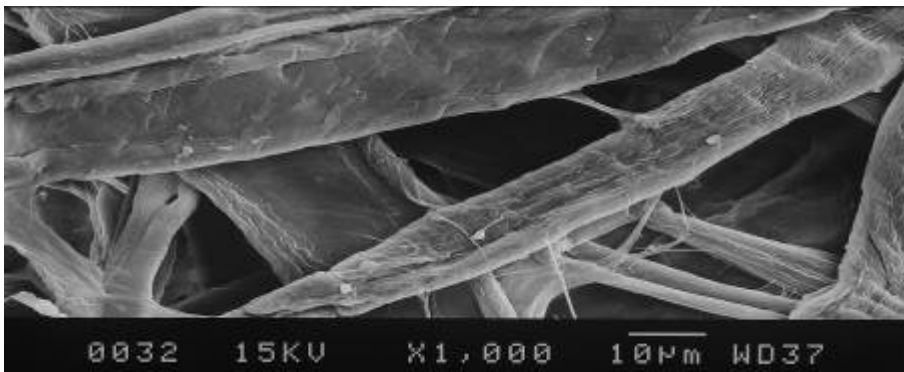


شکل ۸) تأثیر نانو سلولز بر سفیدی

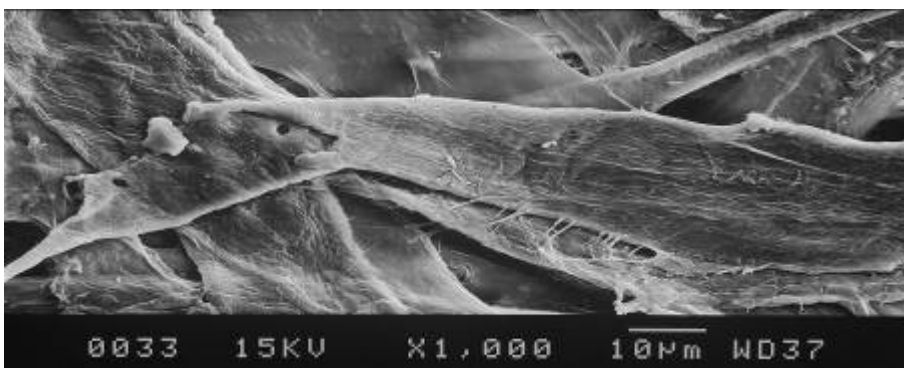
مشاهده می شود با افزایش نانو سلولز تاحدی، سطح الیاف پوشش داده می شود، به نحوی که در هنگام استفاده از ۸ درصد نانو سلولز خلل و فرج کمی مشاهده می شود.

ریختشناسی

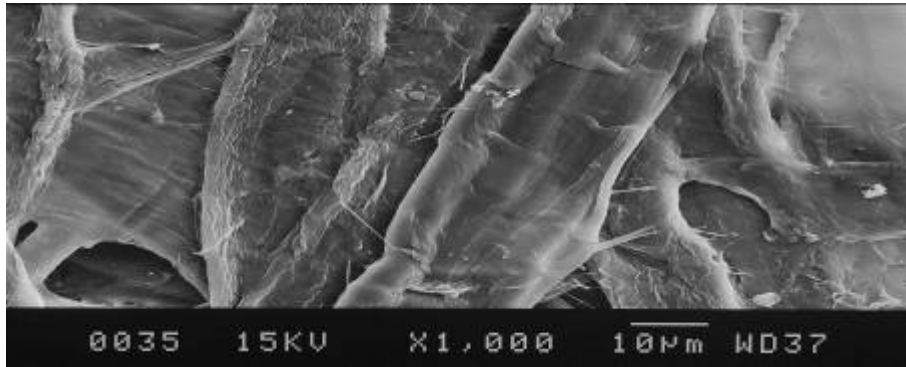
مطالعات میکروسکوپی ساختار کاغذ (SEM) اشکال ۹ الی ۱۱ نشان دهنده الیاف سطحی کاغذ دست ساز است. همان طور که در اشکال



شکل ۹) سطح کاغذ بدون نانو سلولز - بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر



شکل ۱۰) سطح کاغذ به همراه ۴ درصد نانو سلولز - بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر



شکل (۱۱) سطح کاغذ به همراه ۸ درصد نانو سلولز - بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابر

بحث و نتیجه گیری

تأثیر نانوسلولز بر خواص آزمونی

مقاومت به کشش شاخص مناسب‌تری برای تمام پیوندهای بین الیاف است که در واقع ترکیبی از سایر مقاومت‌ها است. مقاومت به کشش شاخصی از دوام پتانسیل کشش کاغذی می‌باشد که در اثر نوع مصرف تحت تنش کششی قرار می‌گیرد مهمترین فاکتور موثر بر مقاومت به کشش کاغذ، تعداد و کیفیت اتصال الیاف به یکدیگر می‌باشد. افزایش اتصال الیاف به یکدیگر در اثر افزایش پالایش یا پرس مرطوب و... مقاومت به کشش کاغذ را افزایش خواهد داد. با این حال مقاومت به کشش کاغذ همیشه کمتر از مقاومت به کشش یک فیبر خواهد بود [۱]. مقاومت به کشش در جهت ماشین^۱ همیشه بیشتر از جهت عرضی^۲ است، زیرا الیاف در جهت طولی بیشتر از جهت عرضی هم راستا می‌شوند. در راستای MD در واقع دو دسته اتصالات مورد کشش قرار می‌گیرند: پیوندهای کووالانسی (-O-C، C-C) درون و بین گلوکزهای موجود در

زنجیره‌های سلولز و پیوندهای هیدروژنی بین الیاف. به طور کلی در جهت MD تعداد بیشتری پیوندهای کووالانسی و در جهت CD تعداد کمتری پیوند های کووالانسی وجود دارد [۴]. در کاغذهای دست ساز به دلیل اینکه الیاف به طور تصادفی و در راستاهای مختلف قرار می‌گیرند جهت طولی و عرضی مفهومی ندارد.

مهم‌ترین فاکتور موثر بر مقاومت به کشش کاغذ، تعداد و کیفیت اتصالات به یکدیگر می‌باشد [۱]. در مقاومت به کشش هم مقاومت اتصال بین الیاف و هم خود الیاف تحت کشش قرار می‌گیرند. لذا طول بلندتر الیاف و اتصالات قوی تر بین الیاف به این مقاومت کمک می‌کند. بر اثر کوچک تر شدن ابعاد نانوسلولز سطح ویژه فیبرهای سلولزی افزایش می‌یابد. این به معنی قرار گرفتن تعداد بیشتر گروه‌های در دسترس هیدروکسیل در سطح نانو فیبرهاست که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی را با نانوفیبرهای مجاور دارند و نهایتاً سبب تشکیل شبکه‌ای از نانو فیبرها می‌شوند [۱۲]، که موجب افزایش این مقاومت می‌گردد.

^۱- Machine Direction

^۲- Cross Direction

سطح پیوند آنها موجب افزایش مقاومت می‌شود، اما در کاغذهای ترکیبی عامل افت مقاومت بر اثر فرایند سوپر آسیاب بر عامل بعدی افزایش مقاومت پیشی می‌گیرد. از سوی دیگر افزودن نانو فیبر سلولز و استقرار آن در بین الیاف و ایجاد ممانعت در پیوند مستقیم الیاف با هم موجب کاهش مقاومت شبکه الیاف نسبت به تنش پارگی می‌شود [۵].

مقاومت به ترکیدن از جمله مقاومت‌هایی است که به طول فیبر و میزان پیوند بین الیاف بستگی دارد ولی بیش تر تحت تأثیر اتصال بین الیاف است. مقاومت به ترکیدن متناسب است با متوسط طول الیاف به توان دو [۲-۳].

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن تیمارها نشان داد که بین این مقادیر در سطح اطمینان ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. با مصرف نانو سلولز در سطح ۸ درصد شاهد افزایش ۱۲/۵ درصدی مقاومت به ترکیدن نسبت به نمونه ۰ درصد نانو سلولز هستیم.

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس زبری تیمارها نشان داد که بین این مقادیر در سطح اطمینان ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. با مصرف نانو سلولز در سطح ۸ درصد شاهد کاهش ۱۱/۱ درصدی زبری نسبت به نمونه ۰ درصد نانو سلولز هستیم.

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس مقاومت به عبور هوا تیمارها نشان داد که بین این مقادیر در سطح اطمینان ۵ درصد اختلاف معنی- دار آماری وجود دارد. با مصرف نانو سلولز در

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس مقاومت به کشش تیمارها نشان داد که بین این مقادیر در سطح اطمینان ۵ درصد اختلاف معنی- دار آماری وجود دارد. با مصرف نانو سلولز در سطح ۸ درصد شاهد افزایش ۱۰/۹ درصدی مقاومت کششی نسبت به نمونه ۰ درصد نانو سلولز هستیم.

یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر ویژگی مقاومت به پاره شدن، طول الیاف است. مقاومت به پاره شدن متناسب است با متوسط طول الیاف به توان سه دوم. افزایش نسبت الیاف بلند به الیاف کوتاه باعث افزایش این مقاومت می‌گردد.

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس مقاومت به پاره شدن تیمارها نشان داد که بین این مقادیر در سطح اطمینان ۵ درصد اختلاف معنی- دار آماری وجود دارد. با مصرف نانو سلولز در سطح ۸ درصد شاهد کاهش ۱۰/۴ درصدی مقاومت به پاره شدن نسبت به نمونه ۰ درصد نانو سلولز هستیم.

با افزایش درصد نانو سلولز مقاومت به پاره شدن نیز کاهش یافت روند مشابهی نیز بر کاهش مقاومت به پاره شدن در کاغذهای ترکیبی CMP و نانو فیبر سلولز گزارش شده است. در آن گزارش نیز تغییرات در دو عامل مقاومت ذاتی الیاف و سطح پیوند هیدروژنی دلیل تغییرات و شدت این تغییرات در مقاومت به پارگی معرفی شده‌اند. در توجیه رفتار مقاومت به پاره شدن کاغذهای ترکیبی این‌طور استدلال می‌شود که کوتاه شدن الیاف طی عملیات آسیاب موجب افت مقاومت به پاره شدن، و از طرفی افزایش

نتیجه‌گیری

۱. با افزایش نانوسلولز تا ۸ درصد مقاومت کششی، مقاومت به ترک‌شدن، مقاومت به عبور هوا، روشنی و سفیدی نسبت به نمونه ۰ درصد نانوسلولز به ترتیب ۱۰/۹، ۱۲/۵، ۲۳/۶، ۳/۵ و ۶/۸ درصد افزایش یافت.
۲. با افزایش نانوسلولز مقاومت پاره شدن، زبری، ماتی، نسبت به نمونه ۰ درصد نانوسلولز به ترتیب ۱۰/۴، ۱۱/۱، ۰/۶ درصد کاهش یافت.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی تحت عنوان "بررسی تاثیر استفاده از نانوسلولز بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی-مکانیکی" می‌باشد. نویسندگان تشکر خود را از حمایت‌های مالی و معنوی باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان و معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه اعلام می‌دارند.

سطح ۸ درصد شاهد افزایش ۲۳/۶ درصدی مقاومت به عبور هوا نسبت به نمونه ۰ درصد نانوسلولز هستیم.

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس ماتی تیمارها نشان داد که بین این مقادیر در سطح اطمینان ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود ندارد. با مصرف نانوسلولز در سطح ۸ درصد شاهد کاهش ۰/۶ درصدی ماتی نسبت به نمونه ۰ درصد نانوسلولز هستیم.

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس روشنی تیمارها نشان داد که بین این مقادیر در سطح اطمینان ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. با مصرف نانوسلولز در سطح ۸ درصد شاهد افزایش ۳/۵ درصدی روشنی نسبت به نمونه ۰ درصد نانوسلولز هستیم.

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس سفیدی تیمارها نشان داد که بین این مقادیر در سطح اطمینان ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. با مصرف نانوسلولز در سطح ۸ درصد شاهد کاهش ۶/۸ درصدی زردی نسبت به نمونه ۰ درصد نانوسلولز هستیم.

میکروسکوپ الکترونی SEM

همانطور که در شکل‌ها مشاهده شد با افزایش سطح مصرف نانوسلولز، تا حدودی خلل و فرج نمد الیاف توسط نانوسلولز پر شده به همین دلیل مقاومت به عبور هوا افزایش نشان می‌دهد.

منابع

- رطوبت. اولین کنفرانس ملی نانو فناوری و کاربرد آن در کشاورزی و منابع طبیعی اردیبهشت ۱۳۹۱.
8. Fahey, D.J., Bormett D.W., (1982). Recycled Fibers in Corrugated Containers, TAPPI Journal, 65(10), 107-110.
 9. Henriksson, M., Berglund, L.A., Laksson, P., Lindstrom, T. and Nishino, T., (2008). Cellulose nanopaper structures of high toughness, *Biomacromolecules*, 9(6), 1579-1585.
 10. Madani, A. Kiiskinen, H. Olson, J. A and Martinez, D. M. (2011). Fractionation of microfibrillated cellulose and its effects on tensile index and elongation of paper. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 26(3), 306-311.
 11. Ramsden, J. (2004). *Nanotechnology in Coatings, Inks and Adhesives*. Pira International Ltd. Leatherhead. UK.
 12. Yousefi, H., Faezipour, M., Nishino, T., Ebrahimi, G., and Shakeri, A. (2011). All-cellulose composite and nanocomposite made from partially dissolved micro and nanofibers of canola straw. *Polymer Journal*, 43: 559-564.
۱. افرا (۱۳۸۱)، مبانی ویژگی‌های کاغذ. انتشارات آئیز، ۳۹۲ ص
 ۲. اسدپور اتویی، قاسم، ع. قاسمیان، ا. سرائیان، م. غفاری (۱۳۸۷). بررسی کیفیت خمیرهای بازیافتی OCC و امکان مصرف بهینه آن در اختلاط با خمیرNSSC پهن برگان در صنایع چوب کاغذ مازندران. اولین همایش ملی تامین مواد اولیه و توسعه صنایع چوب و کاغذ کشور. ۱۰ ص.
 ۳. اکبرپور (۱۳۸۸)، مرکب زدایی آنزیمی کاغذ روزنامه باطله. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۱ص.
 ۴. حمزه، رستم پور (۱۳۸۷). اصول شیمی کاغذ سازی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۴ ص
 ۵. علی‌نیا، ص، افرا، ا، یوسفی، ح (۱۳۹۱). تأثیر دمای اختلاط خمیر و نانوفیبر سلولز بر ویژگی‌های کاغذ، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل (دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان).
 ۶. لاکانی، ص، افرا، ا. (۱۳۹۱). اثر مدت زمان اختلاط خمیر و سلولز نانو فیبریل شده بر خواص کاغذ. اولین کنفرانس ملی نانو فناوری و کاربرد آن در کشاورزی و منابع طبیعی اردیبهشت ۱۳۹۱.
 ۷. هادیلام، م، افرا، ا، یوسفی، ح، قاسمیان، ع. (۱۳۹۱). بررسی رفتارهای مقاومتی و ممانعتی کاغذهای حاوی نانو فیبر سلولز در مقابل

