

نانو الیاف سلولزی و بررسی ویژگی‌های مکانیکی کاغذ حاصل از آن

مهدیس شفاعی، الیاس افرا

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

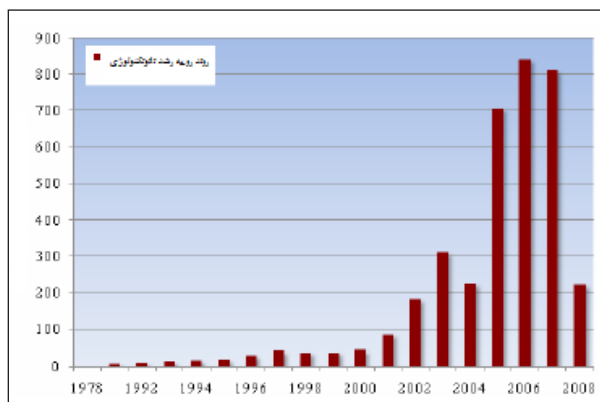
یکی از ویژگی‌های اساسی کاغذها خواص مکانیکی (مقاومتی) آن است به طوری که کاغذهای تولید شده باید از مقاومت کافی برخوردار باشند تا پس از تولید بتوانیم آن را به طور رضایت بخش به مصرف برسانیم. در صنعت کاغذسازی از مواد افزودنی گوناگونی جهت بهبود مقاومت تر و خشک کاغذ استفاده می‌شود. متأسفانه بسیاری از این پلیمرها سنتزی بوده و زیست تخریب پذیر نیستند و به همین دلیل سبب مشکلات زیست محیطی می‌شوند. این مسائل سبب می‌شود نیاز به تولید کاغذهای مقاوم و با کیفیت همراه با هزینه تولید کم و سازگار با محیط زیست احساس شود تا در آینده و حال پاسخگوی نیازهای جوامع بشری باشد. به منظور دستیابی به این امر روش‌های جایگزین و مناسبی از قبیل استفاده از فن‌آوری‌های نوین نظیر زیست فناوری و نانو فناوری می‌تواند مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: کاغذ، نانو تکنولوژی، نانو الیاف سلولزی، ویژگی مکانیکی

abdollahifar@gmail.com

۱- مقدمه

تولیدی مناسب به منظور دستیابی به نانو ذرات با خواص مطلوب، هزینه کمتر و محافظ محیط زیست از چالش‌های مهم در زمینه فناوری نانو می‌باشد (من^۱، ۱۹۹۶؛ سیمکیس^۲ و ویلبور^۳، ۱۹۹۸). طی سالهای اخیر سرمایه‌گذاران برای چشمگیری از طریق صنایع، دانشگاه‌ها و دولت در حوزه فناوری نانو صورت پذیرفته است؛ با این امید که پیشرفت‌ها در این زمینه بتواند تأثیر شگرف و مثبتی بر جنبه‌های مختلف زندگی انسان داشته باشد (روکو، ۲۰۰۳؛ روکو و همکاران، ۲۰۰۵؛ پار، ۲۰۰۵؛ سلین، ۲۰۰۷).



شکل (۱) نمودار رشد نانو تکنولوژی

هدف از فناوری نانو کنترل و دستکاری مواد برای به دست آوردن عملکردهای ویژه است. فناوری نانو یک ابزار جدید در سالهای اخیر است که طیف گسترده‌ای از برنامه‌های کاربردی را شامل می‌شود. صنعت خمیر و کاغذسازی یکی از آنهاست. ایده استفاده از مواد در اندازه نانو به منظور بالا بردن عملکرد کاغذ و مقوا تمام محدوده کاربردها از بهبود خواص نوری، مقاومت به خراشیدن تا تقویت خواص ممانعتی و مکانیکی و مقاومتی را پوشش می‌دهد (رامسدن، ۲۰۰۴). نانو تکنولوژی به سرعت در سالهای اخیر در حال پیشرفت بوده است و پتانسیل استفاده از نانو فیبر سلولزی به عنوان مواد دوستدار محیط زیست با طیف گسترده‌ای از کاربردها آشکار شده است. این نانو الیاف خواص

1. mann
2. simkiss
3. Wilbur

می‌توان گفت یکی از موادی که در تمدن انسان نقش بسزایی داشته و دارد، کاغذ است. این ابزار هنوز هم نقش کلیدی را در ارتباطات بازی می‌کند و در گروه‌های مختلف جامعه نیاز به آن احساس می‌شود. شکی نیست که نه تنها جایگاه ویژه کاغذ در آینده از بین نخواهد رفت، بلکه با بهینه نمودن فرآیند ساخت کاغذ و یا کمک گرفتن از تخصص رشته‌های دیگر، روز به روز بر قلمرو کاربرد آن افزوده خواهد شد (محمدی، ۱۳۹۰). این ماده زمانی طولانی از تاریخ را دنبال بشریت بوده و با توجه به نیاز انسان، روشهای ساخت و فرآوری آن مورد تغییر قرار گرفته است. این ماده اینک در قرن جدید با ساختار جدیدی از مواد و روشهای فرآوری و تکنولوژی نوینی رو به رو می‌شود که خواص ویژه جدیدی بدان می‌بخشد و این ماده طبیعی را بیش از پیش مورد توجه انسانها قرار می‌دهد (رامسدن، ۲۰۰۴). امروزه با توجه به کاربرد فناوری نانو در عرصه‌های مختلف صنعتی، استفاده از نانو ذرات در صنعت کاغذسازی جایگاه ویژه‌ای یافته و روز به روز، نوآوریها و کاربردهای مربوط به آن گسترش می‌یابد. نانو تکنولوژی یکی از سریع‌ترین شاخه‌های تحقیقاتی در حال رشد در جهان است. این فناوری یکی از آخرین دستاوردهای علمی است که در شاخه‌های مختلف دانش بشری در حال ریشه دواندن است. نانو تکنولوژی توانمندی تولید مواد، ابزار و سیستمهای جدید با در دست گرفتن کنترل آنها در سطوح مولکولی، اتمی و استفاده از خواص آنهاست (هادیلام، ۱۳۹۱).

بطور کلی، فناوری نانو عبارت است از شناخت، کنترل و کاربرد ماده درک ابعاد تقریباً یک تا ۱۰۰ نانومتر (یک نانومتر یک میلیاردیم متر می‌باشد). لازم به ذکر است که قطر یک تار موی انسان صد هزار نانومتر است) که در چنین مقیاسی مشخصه‌های منحصر به فرد مواد موجب پیدایش کاربردهای نوینی می‌شوند. در این مقیاس خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی مواد با خواص تک تک اتم، مولکولها و یا خواص توده ماده کاملاً متفاوت است (پاکست، ۲۰۰۸). نسبت سطح به حجم بالای نانو مواد یکی از مهم‌ترین خصوصیات مواد تولید شده در مقیاس نانویی است. در این مقیاس رفتار سطوح بر رفتار توده‌هایی ماده غالب می‌شود (جان بزرگی و قناد، ۱۳۸۹). در واقع افزایش نسبت مساحت سطح به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می‌دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتمهای واقع در سطح ذره به رفتار اتمهای درونی م شود. با توجه به خواص منحصر به فرد نانو ذرات، به کارگیری روشهای

1. pcast

مقاومتی، ممانعتی و بهداشتی مناسبتری، نسبت به حالت معمول الیاف سلولزی ارائه میدهند (ایچورن و همکاران ۲۰۱۰). هدف از این تحقیق بررسی ویژگیهای مقاومتی کاغذ با استفاده از نانو الیاف سلولزی و مرور مزایای آن نسبت به روشهای متداول می‌باشد.

۲- ویژگی‌های مقاومتی کاغذ

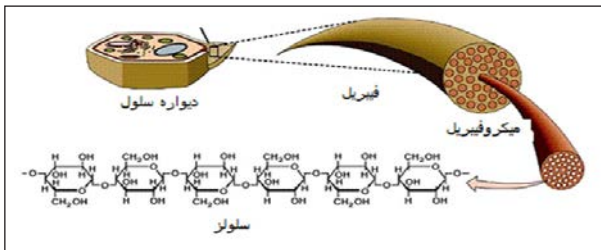
مقاومت کاغذ متناسب با نوع کاربردی که برای آن در نظر گرفته شده است می‌تواند در درجه اول اهمیت قرار داشته باشد. به عنوان مثال در مورد کاغذ بسته‌بندی، مقاومت به ترکیدن و در کاغذهای چاپ و تحریر مقاومت به کشش و در کاغذ اسکناس و اوراق بهادار مقاومت به تا خوردن می‌تواند فاکتورهای مقاومتی به حساب آیند (افشار، ۱۳۹۱). بعضی از خواص مکانیکی مهم کاغذ در جدول زیر بیان شده است:

جدول ۱

خواص مکانیکی (مقاومتی) معمول کاغذ
خواص کششی
مقاومت به پارگی
مقاومت خمشی
مقاومت به ترکیدن
مقاومت سطح
مقاومت چسبندگی داخلی
مقاومت تراکمی

۳- نانو الیاف سلولزی

تولید الیاف در طبیعت در نهاد گونه‌های مختلف موجودات زنده از قبیل باکتریها و برخی آمیبهها، جانوران و بلاخص گیاهان مثل علفها، نیها، جلبکها و ساقهی گیاهان چوبی وجود دارد. سلولز بسیار طبیعی است که از لحاظ دسترسی فراوان و به صورت طبیعی قابل تجدید می‌باشد. این مولکول در دیواره سلولی اولیه گیاهان سبز به بیشترین مقدار یافت می‌شود؛ بنابراین معمولترین ترکیب آلی در کره زمین است (هادیلام، ۱۳۹۱). سلولز به‌عنوان فراوانترین پلیمر زیستی طبیعی از واحدهای β -D-گلوکوپیرانوزی تشکیل شده است. اتصال بین آنها از طریق پیوندهای گلیکوزیدی (۴ → ۱) می‌باشد. مولکول‌های سلولز کاملاً خطی هستند و تمایل شدیدی به تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی دارند (راول و همکاران، ۲۰۰۰)، در نتیجه دسته‌هایی از مولکول‌های سلولز با یکدیگر مجتمع شده و میکروفیبریلها را تشکیل می‌دهند و از اجتماع میکروفیبریلها نیز ماکروفیبریلها به وجود می‌آیند (شکل ۱). در میکروفیبریلها نواحی بسیار منظم (کریستالی) ۵ و نواحی نسبتاً نامنظم (آمورف) ۶ به طور متناوب در مجاورت یکدیگر قرار دارند. سلولز طبیعی معمولاً به میزان ۸۰ - ۵۰ درصد کریستالی می‌باشد (میرشکرایی، ۱۳۸۱). الیاف سلولزی موادی هستند که در تهیه نانو فیبر و نانو ویسکر به خاطر ساختار ویژه‌شان کاربرد دارند.



شکل (۱) ترتیب قرار گرفتن زنجیره‌های سلولز، میکروفیبریل و فیبریلها در دیواره سلولی گیاه

به طور کلی، مقاومت‌های کاغذ با دو روش مکانیکی و شیمیایی افزایش می‌یابد. ویژگی‌های الکتروشیمیایی سطح الیاف در هر دو روش توسعه یافته و تعامل بین الیاف و در نتیجه سطح تماس و پیوند بین آنها افزایش می‌یابد. پالایش با تغییراتی که در ساختار الیاف ایجاد می‌کند، موجب افزایش پیوندپذیری آنها می‌شود، اما سبب افزایش درصد نرمه‌های الیاف، کاهش قابلیت آنگیری از سوسپانسیون خمیر کاغذ، و کاهش مانی کاغذ نیز می‌شود (رودی و همکاران، ۱۳۹۱، ۲۰۰۶). در اصل آنچه در عملیات پالایش ایجاد میشود، ورود یک سری تنشهای کششی، فشاری و برشی بر روی الیاف است. این نیروها اثرهای خاصی بر روی الیاف ایجاد میکنند، که نخستین اثر، خروج جزئی دیواره اولیه از دیواره سلولی لیف است. اگرچه دیواره اولیه در برابر آب نفوذپذیر است، اما واکنشیده نمیشود. با خروج این لایه دیواره ثانویه در برابر آب برهنه شده واکنشیده می‌شود و انعطافپذیری آن افزایش می‌یابد. با ادامه فرایند لیفی شدن، پیوندهای بین لیفی سستتر می‌شوند و ریز لیفچه‌های ظریف به روی سطح الیاف می‌آیند؛ در نتیجه سطح کل الیاف پالایش شده افزایش می‌یابد و قابلیت پیوند لیف بیشتر میشود. در جریان پالایش، تقریباً همیشه تا حدودی شکستن و کوتاه شدن الیاف بر اثر عمل برشی برآمدگیها و شیارهای دیسک پالاینده پیش می‌آید. شکسته شدن الیاف معمولاً پدیده نامناسبی به حساب می‌آید، چون سبب کندی مراحل شستشو و کاهش استحکام الیاف می‌شود (میرشکرایی، ۱۳۸۲، ۵۰۱). یکی دیگر از راه‌های افزایش مقاومت کاغذ استفاده از مواد افزودنی،

نانو الیاف سلولزی، فیبری نازک و ظریف در جهان طبیعت است که دارای خواص جالبی همچون تجدیدپذیری، قیمت پایین، سطح ویژه بالا، مقاومت ویژه بالا و غیره است. لذا در سالهای اخیر تمایل به استفاده از آن در تولید محصولات مختلفی نظیر کاغذ، کامپوزیت و حتی در صنایع غذایی، بسته بندی، وسایل الکتریکی، قرصهای دارویی و غیره افزایش یافته است. نانوسلولزها محاسن زیادی مانند شکل میلپهای بلند با درجه تبلور بالا، سطح ویژه حدود ۵۷۵ مترمربع در هر متر (تاکاهاشی و همکاران، ۲۰۰۷)، ضریب لاغری بالا، مقاومت ویژه بالا در مقایسه با انواع پرکننده‌های معدنی، سطح بالای فعالیت شیمیایی و قیمت پایین مواد اولیه دارا میباشند (وگنر، ۲۰۰۶). یکی از کاربردهای بالقوه فناوری نانو در صنایع چوب و کاغذ استخراج نانوسلولز از منابع سلولزی و تولید محصولاتی با ویژگی‌های برتر از آن می‌باشد. عموماً روش‌های سنتز و انواع الیاف سلولزی در مقیاس نانو به شرح زیر است:

جدول (2) روش‌های سنتز و انواع الیاف سلولزی در مقیاس نانو

روش استخراج	نوع الیاف سلولزی	اختصار
هیدرولیز اسیدی (شیمیایی)	سلولز نانو رشته‌ای (ویسکر)	CNC ¹ یا CNW ²
استخراج مکانیکی (مکانیکی)	سلولز میکروفیبریل شده سلولز نانوفیبریل شده	MFC ³ NFC ⁴
تابیدن سلولز به روش الکتریکی	سلولز تابیده شده	ESC ⁵

اولین بار Favier و همکارانش در سال ۱۹۹۵ اثر تقویت کنندگی ویسکرهای سلولز را گزارش کردند. پژوهشگران در سالهای اخیر با تهیه نانو ساختارهای سلولزی نظیر نانو ویسکر سلولز و سلولز نانو فیبریل شده و با افزودن مقدار اندکی از آنها به نانوکامپوزیتها، به مقادیر بالایی در ویژگیهای مقاومتی رسیدند. به علاوه تحقیقات نشان داده که افزودن NFC به سوسپانسیون خمیر موجب بهبود خواص فیزیکی، ممانعتی و مقاومتی کاغذ میگردد (اهولا و همکاران، ۲۰۰۸).

۴- عملکرد نانو الیاف سلولزی در کاغذ

نانو الیاف سلولزی به دلیل دارا بودن ویژگیهایی از قبیل مقاومت ذاتی بسیار زیاد، قابلیت تجدیدپذیری، قیمت بسیار کم، دوستدار محیط زیست بودن و قابلیت تجدیدپذیری می‌تواند به عنوان تقویت کننده در صنایع خمیر و کاغذ و مقوا به کار رود. به طور کلی با افزایش میزان نانو الیاف سلولزی در ترکیب نهایی خمیر کاغذ مقاومت کششی کاغذ ساخته شده به میزان چشمگیری افزایش خواهد یافت (اریکسون و همکاران، ۲۰۰۸؛ تاپالی، ۲۰۱۰). Eriksen و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی به بررسی کاربرد NFC تولید شده از خمیر کرافت به

عنوان تقویت کننده مقاومتهای فیزیکی در کاغذ TMP پرداختند. در این تحقیق طی ساخت ۲۶ سری کاغذ دست ساز ضمن افزودن ۴٪ MFC تولید شده با یک همگنساز^۱ و نوعی آسیاب ویژه^۲ اقدام نمودند. آنالیز توزیع اندازه ذرات MFC نشان داد که ذرات تولیدی با همگنساز از منحنی درجه دو تابعیت می‌کند، در حالی که توزیع ذرات توسط آسیاب به صورت لگاریتمی نرمال می‌باشد. MFC تولید شده دارای ذرات هیدرودینامیکی با اندازه‌های در حدود ۳۰-۱۵۰ میکرون بودند، و همگنساز MFC با بزرگترین ذرات تولید کرد. نتایج نشان داد که با افزودن MFC مقاومت به کشش و عبور هوا افزایش می‌یابد و این افزایش در مورد MFC حاصل از همگنساز بیشتر از گریندینگ است (به ترتیب ۷-۲۱٪ و ۱۱-۳۴٪ برای مقاومت به کشش و عبورها) که دلالت بر اختلاف مکانیزمهای تقویتی دو نوع MFC دارد. همچنین، افزودن MFC ضریب پراکنش نور (در بدترین حالت ۸٪)، ماتی و شفافیت ورقه کاغذ را کاهش می‌دهد. با این وجود در گزارش موجود در خصوص توجیه اقتصادی استفاده از MFC برای افزایش مقاومتهای این نوع کاغذ گزارشات محکمی منتشر نشده است. بهبود چشمگیر در مقاومتهای در این واقعیت نهفته است که نانوفیبرهای سلولزی نسبت سطح به حجم بسیار زیادی دارند. افزایش سطح ویژه نانوفیبرهای سلولزی به این معناست که تعداد گروه‌های هیدروکسیل که در سطح قرار می‌گیرند و آماده تشکیل پیوند هیدروژنی با گروه هیدروکسیلی سطح مجاور خود می‌شوند، بیشتر می‌شوند (سیورود ۱۰ و استنیوس ۱۱، ۲۰۰۹). از عوامل دیگری که موجب اثر تقویتکنندگی زیاد نانوفیبرهای سلولزی می‌شود، داشتن نسبت ظاهری زیاد این نانوماده است. البته مقدار نسبت ظاهری بستگی به منبع سلولزی و فرآیند تولید نانوفیبر سلولزی دارد که دامنه آن از حدود ۱۰ شروع شده و تا بیش از ۱۵۰ هم میرسد. با افزایش نسبت ظاهری، درگیری نانوفیبرها و تعداد نقاط اتصال آنها به یکدیگر بیشتر می‌شود. در واقع تعداد بیشتری از نانوفیبرها به همدیگر متصل می‌شوند و لذا یک شبکه نانوفیبری بسیار مستحکم به وجود می‌آید (یوسفی، ۱۳۸۷). سهاکویی و همکاران در سال ۲۰۱۰ از سلولز نانو فیبریل چوب به عنوان تقویت کننده ساختار کاغذ استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان مصرف سلولز نانو فیبریل تا حد ۱۰ درصد مقاومت کششی کاغذ تولید شده از ۹۸ مگا پاسکال به ۱۶۰ افزایش می‌یابد.

ذرات نانوفیبریل به دلیل ابعاد بسیار ریز، با پر کردن فضاهای خالی بین الیاف و توسعه پیوندهای هیدروژنی موجب افزایش سطح تماس بین الیاف و در نتیجه بهبود ویژگیهای مقاومتی کاغذ نهایی می‌شود. به طوری که نتایج اغلب تحقیقات بیانگر آن است که با استفاده از ذرات نانوسلولزی و یا سلولز نانوفیبریل شده در ترکیب کاغذ، می‌توان به نانو کاغذهایی با دانسیته بالا، مقاومت زیاد در مقایسه با کاغذهای حاصل از مشتقات سلولزی مثل سلوفان دست یافت (ایمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

۵- نتیجه گیری

سلولز یکی از مهمترین پلیمرهای طبیعی است و به عنوان یک ماده خام پایان نا پذیر، مادهای زیست سازگار در مقیاس صنعتی است. نانوسلولز، متشکل از فیبرهای سلولز با ابعاد نانو است، که نوعا دارای

8. Homogenization

9. grinding

10. Syverud

11. Stenius

7. Ahola

۱۱. یوسفی، ح. ساخت ابر کاغذی با مقاومت فولاد. ۱۳۸۷. ماهنامه فناوری نانو، سال هفتم شماره ۱۳۲.

12. Ahola, S, Osterberg, M and Laine, J. (2008) Cellulose nano-fibrils adsorption with polyamideamine (epichlorohydrin studied by QCM-D and application as a paper strength additive. *Cellulose*. 314-15:303

13. Echorn, s, j, Dufresne, A, Aranguren, m, Macrovich, N.E. Capadona, j.R. Rowan, s, j, yano, H. 2010. Current international research into cellulose nanofiber and nanocomposite. *Journal materials sci*. 45:1-33,

14. Eriksen, O, Syverud, K, Gregersen, O. (2008). The use of Microfibrillated cellulose produced from Kraft pulp as strength enhancer in TMP paper. "Nordic Pulp Paper Res. J299-304 : (3)23.

15. Favier V, Chanzy H, Cavallé J. Y. 1995. Polymer Nanocomposites Reinforced By Cellulose Whiskers. *Macromol*. 6365-6367, 28.

16. John Lessi Web. 1998. Comparison of dry strength additives on paper parameters. *TAPPI Journal*, Vol. (10)84.

17. Mann, S. 1996. Biomimetic Materials Chemistry, VCH Weinheim 1. rd edn. 315-336 ;,

18. Parr, D. 2005. Will nanotechnology make the world a better place? *Journal of Trends Biotechnology*, 23 (8), 395-398.

19. Pcast. (2008). Second Evaluation of National Nanotechnology Initiative Program in the United States. Retrieved April, 2008 21 from <http://www.nano.ir> In Farsi. (

20. Ramsden, j. "Nanotechnology in cation inks and adhesives pira international ltd. "Leatherhead. UK. 2004.

21. Roco, M. 2003. Public affairs forum -national nanotechnology initiative to advance broad societal goals. *Journal of MRS Bull*, 28 (6), 416.

22. Roco, M & Bainbridge, W. 2005. Societal implications of nanoscience and nanotechnology. *Journal Nanoparticle Research*, 10 (2), 111-118.

23. Rowell, jk, js. Han and J. s. Rowell. 2000. Characterization and Factors Effecting Fiber Properties. *Natural Polymers and Agrofibers*

ابعاد عرضی ۲۰-۵ نانومتر و ابعاد طولی در محدوده گسترده‌های از ده‌ها نانومتر تا چند میکرون است. الیاف سلولزی با داشتن عرض در محدوده نانومتر، موادی مبتنی بر طبیعت با ویژگی‌های مفید و منحصر به فرد هستند. مهم‌تر از همه، نانو سلولزهای جدید که از الیاف سلولزی نانو ساختار با یک بعد نسبتاً وسیع (نسبت طول به عرض) و با خواص معین تهیه می‌شوند، کاربردهای متعددی پیدا کرده‌اند. نانو الیاف سلولزی به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی از قبیل مقاومت ذاتی بسیار زیاد، قابلیت تجدیدپذیری، قیمت بسیار کم، دوستدار محیط زیست می‌تواند به عنوان تقویت کننده در صنایع خمیر و کاغذ و مقوا به کار رود. این ویژگی‌های خاص مواد لیگنوسلولزی باعث شده تا سلولز توجهات زیادی را به سمت خود جلب کند و این تمایل استفاده و توجهات در حال افزایش است.

منابع

۱. افرا، ا، علی‌نبا، ص، یوسفی، ح. ۱۳۹۱. تأثیر مدت زمان اختلاط سوسپانسیون خمیر و نانوفیبر سلولز بر ویژگی‌های کاغذ تقویت شده حاصل. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل ۲۰:۲، ۱۵۱-۱۶۰.

۲. افشار، م. ۱۳۹۱. عوامل افزودنی مقاومت خشک کاغذ و اثرات آن بر ویژگی‌های کاغذ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳. ایمانی، م، کاریان، ا، پسرکلو، م، اکبریور، ا، قاسمیان، ع. ۱۳۹۲. معرفی نانوفیبریل‌های سلولزی و اهمیت آن در صنعت کاغذسازی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی.

۴. رودی، ح، همزه، ی، ابراهیمی، ق، بهروز اشکیکی، ر، محمدنژاد، م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تیمار لایه نشانی در سطوح مختلف هدایت الکتریکی بر ویژگی‌های کاغذ. نشریه جنگل و فراورده‌های چوب. ۶۶: ۳۰۵-۳۱۷.

۵. جعفری پطروودی، ر، آریایی منفرد، ه، رضایتی چرانی، پ، وزیری، و. ۱۳۹۲. قابلیت‌ها و کاربردهای نانوسلولز به عنوان نانوماده دوستدار محیط زیست و نشات گرفته از طبیعت. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی.

۶. جانیزرگی، ا، قناد، ز. ۱۳۸۹. کاربرد تکنولوژی نانو در صنعت ساختمان. فصلنامه کیسون. ۴۴: ۱-۳.

۷. محمدی، م. ۱۳۹۱. فرآوری نانوذرات نقره و ارزیابی عملکرد آن بر خواص ضد میکروبی خمیر و کاغذ فلاف، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.

۸. میرشکرایی، ا، شوستروم، ارو. ۱۳۸۱. شیمی چوب، انتشارات آبیژ،

۹. میرشکرایی، ا، اسموک، گ. ۱۳۸۲. فناوری خمیر و کاغذ، انتشارات آبیژ، ۵۰۱ صفحه.

۱۰. هادیلام، م. ۱۳۹۱. تولید و ارزیابی خواص سلولز نانوفیبریل شده (NFC) از سلولز و استفاده از آن در بهبود ویژگی‌های خمیر کاغذ کنگره ای کهنه (OCC)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.

- J.826–819 ,38 .
27. Syverud ,K ,.and Stenius ,P .2009 .Strength and barrier properties of MFC films ,Cellulose ,Pp: .85–75
28. Taipale ,T.,Osterberg ,M ,.Nykanen ,A., Ruokolainen ,J ,.Laine ,J .2010 .Effect of microfibrillated cellulose and fines on the drainage of kraft pulp suspension and paper strength .Cellulose.1020 -1005 ,17 ,
29. Wegner ,T ,.Jones ,P .2006 . Advancing cellulose-based nanotechnology .Cellulose, .118– 13:115
- Composites.134 -115 ,
24. Selin ,C .2007 .Expectations and the emergence of nanotechnology .*Journal of Science Technology Human Values*, 32 (2), 196–200.
25. Sehaqui ,H ,.Allias ,M ,.Zhou ,Q ,.Berqlund, L .A.2011 .Wood cellulose biocomposite with fibrous structures at micro and nano scale. *Composite Science and Technology*-382 ,71 .387
26. Simkiss ,K ,.Wilbur ,K.M.1989. *Biomaterialization* ,Academic Press. 127: 373-373 Takahashi ,C ,.Yamane ,T ,.Aoyagi ,M., Ago ,K ,.Sato ,K ,.and Okajima .2007 .Polym.