بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته صنایع خمیر و کاغذ

تولید و ارزیابی سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی (CNFC) و بررسی تأثیر کاتیونی کردن بر ماندگاری سلولز نانوفیبریله شده (NFC) در کاغذ

پژوهش و نگارش
محسن آتش افروز

استاد راهنما
الیاس افرا

اساتید مشاور
علی قاسمیان
قاسم اسدپور

تابستان ۱۳۹۲

تعهدنامه پژوهشی

نظر به این که چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالت های علمی – پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلا بطورکتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **محسن آتش افروز** دانشجوی رشته **مهندسی صنایع چوب و کاغذ** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می شوم.

تقدیر و تشکر

نخست بر خود لازم می دانم مراتب سپاس بی پایان خویش را تقدیم پدر ، مادر و خواهران خوبم نمایم که همواره پشتیبانیشان، مایه دلگرمی و همراهیشان روشنگر راهم بوده است. همه آنچه را که از نتایج تأمل و تحقیقات در عرصه این مجموعه به دست آورده ام، پیشکش نفس های همیشه گرم پدر و مادرم می کنم، نفس و نگاهی که به یقین پل موفقیتم بود.

از عنایات استاد راهنمای ارجمند جناب آقای دکتر افرا که اینجانب را در تمامی مراحل این تحقیق یاری فرمودند و با قبول مسئولیت و راهنمایی این پایان نامه با نظرات کارشناسانه و خردمندانه خویش بر من منت نهاده و زحمات زیادی را در ارائه ، تدوین و نگارش بهتر این پایان نامه متقبل شده‌اند ، سپاس گزاری می نمایم .

از زحمات بی شائبه و راهنمایی‌های صمیمانه اساتید بزرگوار آقای دکتر قاسمسیان و دکتر اسدپور که در پیشرفت اهداف تحقیق راهگشای مشکلاتم بوده اند و در طول انجام تحقیق همواره از مساعدتهایشان بهره فراوان جسته‌ام ، صادقانه تشکر و قدردانی می نمایم .

از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر دهقانی که علاوه بر زحمت داوری این پایان نامه، افتخار شاگردیشان را داشتم، و در طول این مدت در هر شرایطی از راهنمایی اینجانب دریغ نکردند و با راهنمایی های خردمندانه خود کمک زیادی به بنده جهت ارائه بهتر پایان نامه نموده اند ، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.

از زحمات و مساعدت صمیمیانه پرسنل محترم آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ سرکار خانم مهندس حسین خانی ، مهندس نیک اختر، مهندس رضایی نژاد ، اقای زاهدی، آقای فیروز و اقای ملک نهایت تشکر و قدردانی را می نمایم .

تقدیم به:

پدر و مادر بزرگوارم

که در سختی این راه پرفراز و نشیب زندگی همراه من بودند و از قلب و جان و مال برای من ایثار کردند و من را سیراب عشق نمودند.

و نیز تقدیم به ایثارگران این مرز و بوم به ویژه شهیدان حسن و حسین واحدی

ایثار چنین انسان های پاک سرشتی است که مجالی جهت فعالیت های مختلف در سایه آرامش و امنیت برای امثال من به وجود آورده است. ایثاری که عده-

ای همچون این عزیزان با خون و وجود خود، عده ای با علم و عده ای با مال و آبرو و قلب خود همچون پدر و مادرم در حق ما کردند قابل قدردانی فراوان است. هر چند

بنده در زمینه این سپاسگزاری کوچکترین هستم.

چکیده

در این تحقیق سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی با استفاده از نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهارم تهیه گردید. سپس از سلولز نانوفیبریله شده، سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی و سلولز نانوفیبریله شده همراه با پلی آکریل آمید به‌عنوان تقویت کننده در ساخت کاغذ دست‌ساز استفاده شد و ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذ حاصل مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین با عکس‌برداری میکروسکوپ الکترون روبشی نحوه پراکنش سلولز نانوفیبریله شده در تیمارهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج، استفاده از سلولز نانوفیبریله شده، سلولزنانوفیبریله شده کاتیونی و سلولزنانوفیبریله شده همراه با پلی آکریل آمید موجب کاهش ضخامت، افزایش دانسیته و افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذهای دست‌ساز می‌شود.نتایج مقاومت به ترکیدیگی نشان می‌دهد استفاده از سلولز نانوفیبریله شده و سلولز نانوفیبریله شده همراه با پلی آکریل امید موجب بهبود مقاومت به ترکیدگی کاغذ دست‌ساز می‌شود اما سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی مقاومت به ترکیدگی را کاهش می‌دهد. همچنین استفاده از مقادیر کم سلولز نانوفیبریله شده، سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی و سلولز نانوفیبریله شده همراه با پلی آکریل آمید موجب افزایش مقاومت به پارگی می‌شود. به طور کلی استفاده از سلولز نانوفیبریله شده و سلولز نانوفیبریله شده همراه با پلی آکریل آمید موجب کاهش ماتی و افزایش درجه روشنی می‌شود. اما استفاده از سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی باعث افزایش ماتی و کاهش درجه روشنی می‌شود. تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی نشان می‌دهد که تیمار سلولز نانوفیبریله شده بیش‌ترین دورویه‌گی و سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی کم‌ترین دورویه‌گی را دارد.

واژه های کلیدی: سلولز نانوفیبریله شده، نمک استر کاتیونی آمینی، خمیر شیمیایی الیاف بلند، خواص فیزیکی و مقاومتی کاغذ

فهرست مطالب

۱-۱مقدمه و کلیات	۲
۱-۲ شیوه‌های متداول بهبود ویژگی‌های کاغذ	۳
۱-۲ نانوفناوری و اهمیت آن	۵
۱-۳ نانو فناوری در کاغذسازی	٦
۱-٤ سلولز نانوفیبریله شده	۷
۱-٤-۱ منابع لیگنوسلولزی مورد استفاده جهت تولید سلولز نانوفیبریله شده	۹
۱-۵-۲ روش‌های تولید سلولز نانوفیبریله شده	۱۰
۱-۵-۲-۱ همگن‌ساز	۱۰
۱-۵-۲-۲ فراصوت	۱۱
۱-۵-۲-۳ آسیاب	۱۲
۱-۵-۳ خواص فیزیکی و ساختار شیمیایی سلولزنانوفیبریله شده	۱۲
۱-۵-۳-۱ درجه بسپارش و قدرت (استحکام)	۱۳
۱-۵-۳-۲ شیمی سطح	۱۳
۱-۵-۳-۳ سطح ویژه	۱٤
۱-۵-٤ کاربردهای سلولز نانوفیبریله شده	۱٤
۱-٦ ماندگاری در کاغذسازی	۱۵
۱-٦-۱ تعریف ماندگاری	۱۵
۱-٦-۲ مکانیسم‌های اصلی ماندگاری	۱۵
۱-٦-۳ مواد کمک نگهدارنده و کمک آبگیری	۱٦
۱-٦-٤ مروری بر اثر متقابل الیاف و پلی الکترولیت‌ها	۱۷
۱-٦-۵ مکانیسم های ماندگاری نرمه‌ها	۱۸

۲-۵-٦-۱ مکانیسم وصله زنی در ماندگاری نرمه‌ها ۱۹
۳-۵-٦-۱ مکانیسم پل زنی در ماندگاری نرمه‌ها ۱۹
٦-۱ بیان مسئله ۲۰
۷-۱ اهداف تحقیق ۲۱
۸-۱ فرضیات ۲۲
۲ مروری بر منابع ۲۳
۱-۲ کلیات و پیشینه تاریخی نانوسلولز ۲٤
۲-۲ سابقه تحقیق در خصوص الیاف کاتیونی ۲۵
۲-۳ سلولز نانوفیبرلیه شده در کامپوزیت و کاغذ ۲۸
۳ مواد و روش‌ها ۳۱
۳-۱ مواد ۲۳
۳-۱-۱ ماده اولیه سلولزی ۳۳
۳-۱-۳ نمک استرکاتیونی آمینی نوع چهارم ۳۳
۳-۱-٤ پلی اکریل آمید کاتیونی ۳۳
۳-۱-۵ مواد شیمیایی ۳۳
۳-۲ روش‌ها ۳٤
۳-۲-۱ تهیه سلولز نانوفیبریله شده با روش آسیاب ۳٤
۳-۲-۲ کاتیونی کردن سلولز نانوفیبریله شده ۳٦
۳-۲-۳ آماده‌سازی سلولز نانوفیبریله شده جهت واکنش شیمیایی ۳۸
۳-۲-۳ واکنش سلولز نانوفیبریله شده با نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهار ۳۸
۳-۲-٤ ساخت کاغذ دست‌ساز ۳۹
۳-۲-٤-۱ پالایش خمیرکاغذ ۳۹
۳-۲-٤-۲ ساخت کاغذ دست ساز ۳۹

۳-۲-۵ ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای دست‌ساز ٤١
۳-۲-۵-۱ بررسی گراماژ، ضخامت و حجم ویژه کاغذهای دست‌ساز ٤١
۳-۲-۵-۲ مقاومت به عبور هوا ٤١
۳-۲-٦ ارزیابی ویژگی‌های نوری ٤١
۳-۲-۷ ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی ٤٢
۳-۲-۷-۱ مقاومت به ترکیدگی ٤٢
۳-۲-۷-۲ مقاومت به پارگی ٤٢
۳-۳ طرح آماری ٤٢
٤ نتایج و بحث ٤٣
٤-۱ اصلاح نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهارم ٤٤
٤-۱-۱ ایجاد گروه‌های فعال در ساختار نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهار ٤٥
٤-۲ واکنش سلولز نانوفیبریله شده با نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهار ٤٦
٤-۳ ارزیابی سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی با استفاده از طیف سنج مادون قرمز-فوریه ٤٧
٤-٤ بررسی خواص فیزیکی کاغذ ٤٨
٤-٤-۱ ریزنگارهٔ میکروسکوپ الکترونی روبشی کاغذهای دست‌ساز ٤٨
٤-٤-۲ ضخامت ٥٢
٤-٤-۳ دانسیته ظاهری ٥٤
٤-٤-٤ مقاومت به عبور هوا ٥٥
٤-٥ بررسی خواص مکانیکی کاغذ ٥٧
٤-٥-۱ مقاومت به ترکیدگی ٥٧
٤-٥-۲ مقاومت به پارگی ٥٩
٤-٦ بررسی ویژگی‌های نوری کاغذ ٦١
٤-٦-۱ ماتی ٦١

فهرست شکل‌ها

۱-۱ واکنش متقابل پلیمر و الیاف ۱۷

۱-۲ ایجاد دلمه با مکانیسم خنثی‌سازی بار ۱۸

۳-۱ دستگاه آسیاب و سنگ آن ۳۵

۳-۲ سلولز نانوفیبریله شده ۳۵

۳-۳ نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهار ۳۶

٤- ۱ واکنش هیدرولیز نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهار ٤٤

٤- ۲ طیف مادون قرمز - فوریه نمک اسنر کاتیونی آمینی نوع چهارم ٤٥

٤- ۳ واکنش نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهار با تیونیل کلراید ٤٦

٤- ٤ واکنش سلولز نانوفیبریله شده با نمک استر کاتیونی آمینی نوع چهار
طیف مادون قرمز -فوریه از سلولز نانوفیبریله شده ٤٦

٤- ٥ کاغذ شاهد - سمت نمد ٤٧

٤- ۷ کاغذ شاهد - سمت توری ٤٨

٤- ٦ کاغذ حاوی ۱/٥ ٪ سلولز نانوفیبریله شده - سمت نمد ٤٩

٤- ۷ کاغذ حاوی ۱/٥ ٪ سلولز نانوفیبریله شده - سمت نوری ٤٩

کاغذ حاوی ۱/٥ ٪ سلولز نانوفیبریله شده همراه با پلی آکریل آمید - سمت نمد ٥٠

٤- ۸ کاغذ حاوی ۱/٥ ٪ سلولز نانوفیبریله شده همراه با پلی آکریل آمید- سمت توری ٥١

٤- ۹ کاغذ حاوی ۱/٥ ٪ سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی - سمت نمد ٥١

٤- ۱۰ کاغذ حاوی ۱/٥ ٪ سلولز نانوفیبریله شده کاتیونی - سمت توری ٥٢

٤- ۱۱ تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها برضخامت کاغذهای دست‌ساز ٥٣

٤- ۱۲ تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر دانسیته ظاهری کاغذهای دست‌ساز ٥٤

٤- ۱۳ تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر مقاومت به عبور هوای کاغذهای دست-ساز ٥٦

٤- ١٤ تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر مقاومت به ترکیدگی کاغذهای دست‌ساز ٥٨

٤- ١٥ تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز ٦٠

٤- ١٦ تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر ماتی کاغذهای دست‌ساز ٦١

٤- ۱۷ تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز ٦٣

فهرست جدول‌ها

۳-۱ شرایط انجام واکنش ۳۹

۳-۲ ترکیب نهایی تیمارهای مورد مطالعه با توجه به نوع، ترکیب و مقدار سلولز نانوفیبریله شده ٤۰

جدول ۱- آزمون تجزیه واریانس تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر ضخامت کاغذهای دست‌ساز ۷۲

جدول ۲- آزمون تجزیه واریانس تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر دانسیته کاغذهای دست‌ساز ۷۲

جدول ۳- آزمون تجزیه واریانس تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر مقاومت به عبور هوای کاغذهای دست‌ساز ۷۲

جدول ٤- آزمون تجزیه واریانس تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر مقاومت ترکیدگی کاغذهای دست‌ساز ۷۳

جدول ٥- آزمون تجزیه واریانس تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز ۷۳

جدول ٦- آزمون تجزیه واریانس تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر ماتی کاغذهای دست‌ساز ۷۳

جدول ۷- آزمون تجزیه واریانس تأثیر نوع سلولز نانوفیبریله شده و مقادیر متفاوت مصرف آن‌ها بر درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز ۷٤

٤-٦-٢ درجه روشنی ٦٢
٥ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ٦٥
٥-١ نتیجه‌گیری ٦٦
٥-٢ پیشنهادات ٦٦
فهرست منابع ٦٧

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱- مقدمه

۱-۱ -کلیات

نیازهای جدید، همیشه از موثرترین عوامل توسعه در جنبه‌های مختلف زندگی بشر بوده‌است. با اختراع زبان و خط، مسئله ثبت اطلاعات و اتفاق‌ها اهمیت ویژه‌ای یافت. از اولین اقدامات در این زمینه می‌توان، نوشتن بر دیوار غارها، کوه‌ها، سنگ و پوست حیوانات را نام برد. مشکلات استفاده از این مواد انسان را به سمت استفاده از ابزار راحت‌تری تشویق کرد.

واژه کاغذ[۱] ریشه در نام گیاهی از گونه نی‌ها، به نام پاپیروس دارد. مصریان در ۲٤۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، با قرار دادن و فشردن لایه‌هایی از این گیاه، نخستین نوع کاغذ را تولید کردند. در بین سال های ۱۰۵- ۱۰۰ میلادی چینی‌ها توسط شخصی به نام تسای لون[۲]، کاغذی را با استفاده از سوسپانسیون الیاف خیزران یا توت، تولید کردند. پس از گذشت چندین قرن کاغذ به خاورمیانه رسید و به اروپا انتقال یافت.

طی دو هزار سال گذشته کاغذ یک ابزار اصلی از تمدن بشری بوده‌است و اهمیت آن در زندگی نوین بر همگان مشهود است. اختراع صنعت چاپ، عمومی شدن روزنامه‌ها و کتاب‌ها، صنعت بسته‌بندی، محصولات بهداشتی و بسیاری از محصولات متنوع دیگر، نیاز انسان را به کاغذهایی با ویژگی‌های مختلف افزایش داده‌است. این نیاز سبب توسعه و گسترش روش‌های تولید کاغذ، به منظور دست‌یابی به ویژگی‌های مقاومتی، فیزیکی و نوری مختلف شده‌است.

---

[۱] Paper

[۲] Tsai Lun

۱-۲ شیوه های متداول بهبود ویژگی‌های کاغذ

مقاومت‌های عمومی کاغذ تحت تأثیر قابلیت پیوندیابی الیاف و مواد موجود در دوغاب نهایی خمیرکاغذ می‌باشد. به طور کلی با افزایش سطح پیوند و مقاومت پیوند، مقاومت‌های عمومی کاغذ افزایش می‌یابد، لذا تمامی فعالیت‌هایی که به منظور بهبود مقاومت‌های کاغذ انجام می‌شود با رویکرد افزایش سطح پیوند و پتانسیل پیوندیابی الیاف در مراحل عمل‌آوری خمیرکاغذ می‌باشد. سه مرحله مهم در عمل‌آوری خمیرکاغذ قبل از انتقال آن به بخش ماشین کاغذ وجود دارد که در مجموع به مراحل آماده سازی خمیر معروف است. مرحله اول شامل تفکیک خمیر به صورت دوغاب است و مرحله دوم شامل پالایش الیاف به منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذ می‌باشد. مرحله سوم که عموما در بخش پایانه‌تر کاغذسازی انجام می‌پذیرد شامل افزودنی‌های مختلف به منظور بهبود ویژگی‌های عمومی کاغذ و همچنین کمک به تسهیل فرآیند کاغذسازی می‌باشد (میرشکرایی و صادقی‌فر، ۱۳۸۱).

اولین و اصلی‌ترین عملیات جهت بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ عملیات پالایش می‌باشد. در حال حاضر، از اصطلاح پالایش برای فرآیندهای پیوسته فیبریله کردن الیاف و از اصطلاح کوبش برای فرآیندهای ناپیوسته فیبریله کردن استفاده می‌شود. اما از نظر عملکرد، که همان اعمال نیروی مکانیکی به الیاف است، این دو فرآیند کار یکسانی انجام می‌دهند. به طور کلی دو اصطلاح پالایش و کوبش به‌جای یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند (میرشکرایی وصادقی‌فر، ۱۳۸۱).

پالایش یکی از مهمترین فرآیندهای اعمال شده بر روی الیاف است که بر خصوصیات دوغاب خمیر و خصوصیات محصول نهایی اثر می‌گذارد. در فرآیند پالایش ابتدا دیواره الیاف، که قابلیت تورم کمی دارد و از واکشیدگی لایه‌های درونی الیاف نیز جلوگیری می‌کند، به طور نسبی حذف می‌شود. این امر سبب می‌شود الیاف در دیواره ثانویه آب جذب کنند. واکشیدگی ایجاد شده در این مرحله سبب نرم و انعطاف پذیر شدن الیاف می‌گردد. به‌علاوه، بعضی از اجزای ساختار میکروفیبریلی دیواره سلول از سطح الیاف جدا شده و با رشته رشته شدن الیاف، سطح ویژه الیاف به شدت افزایش می‌یابد (میرشکرایی و صادقی‌فر، ۱۳۸۱).

مهمترین اثر پالایش روی الیاف را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد. در ضمن عملیات پالایش، بر اثر عمل برش، طول الیاف کوتاه می‌گردد و بخشی از دیواره الیاف حذف می‌شود. حذف بخشی از دیواره سبب تولید ذرات ریز (نرمه‌ها) در سوسپانسیون خمیر می‌گردد. جدا شدن بخشی از دیواره سلولی الیاف بدون جدا شدن کامل از الیاف صورت می‌گیرد (لیفچه‌ای شدن خارجی) و جدا شدن لایه‌های دیواره داخلی الیاف نیز سبب جذب بیشتر آب می‌گردد (میرشکرایی و صادقی‌فر، ۱۳۸۱).

ورق کاغذ ساخته شده از الیاف پالایش نشده مقاومت کششی و شاخص ترکیدن اندکی خواهد داشت. به‌علاوه، این کاغذ دارای پیوندهای ضعیف، جاذب سیال و حجیم و دارای تخلخل و ماتی زیادی خواهد بود. در مقابل، کاغذ حاصل از الیاف پالایش شده دارای مقاومت مکانیکی بیشتر، ماتی کمتر، سطح صاف‌تر، دانسیته بیشتر و شکل‌پذیری بهتری می‌باشد (میرشکرایی و صادقی‌فر، ۱۳۸۱).

با وجود این، با عملیات پالایش مقاومت به پارگی کاغذ، ماتی، درجه‌روشنی، پایداری ابعاد کاهش می‌یابد. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که تعداد محدودی از خواص کاغذ همزمان از طریق پالایش بهبود می‌یابد. همچنین پالایش منجر به کاهش سرعت خروج آب از الیاف در فرآیند شکل‌گیری ورق کاغذ می‌شود. لازم به ذکر است، در فرآیند کاغذسازی دستگاه پالایش‌گر مصرف کننده بخش زیادی از انرژی کارخانه کاغذسازی می‌باشد. به‌دلیل معایب ذکر شده در ارتباط با استفاده از پالایش جهت بهبود ویژگی-های کاغذ، استفاده از روش‌های جایگزین از قبیل استفاده از افزودنی‌های مقاومت خشک مورد توجه قرار گرفته است.

مقاومت خشک یک ویژگی ساختاری ذاتی کاغذ است که عمدتا، به دلیل تشکیل پیوندهای بین لیفی در ضمن شکل‌گیری و خشک شدن شبکه الیاف، گسترش می‌یابد. بیشتر پلیمرهای محلول در آب که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی دارند، می‌توانند به‌عنوان افزودنی مقاومت خشک عمل کنند. با عنایت به این‌که با عمل پالایش سطح پیوند بین الیاف افزایش و مقاومت ذاتی الیاف کاهش می‌یابد، نقش افزودنی‌های مقاومت دهنده، کمک به افزایش پیوندهای بین لیفی بدون تأثیر بر مقاومت تک تک الیاف است (میرشکرایی و صادقی‌فر، ۱۳۸۱ با دخل و تصرف).

در هنگام استفاده از این مواد باید دقت نمود زیرا صرف نظر از قیمت زیاد، این مواد همراه با مشکلات فرآیندی، از قبیل ایجاد رسوبات سخت در ماشین‌های کاغذسازی، و ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشند.

با توجه به تعاریف و تفاسیر مطرح شده در خصوص بهبود و تغییرات مناسب در خواص کاغذها از جمله کاغذهای چاپ و تحریر و بسته‌بندی، این نیاز احساس می‌شود که در جست‌وجوی روش‌ها و مکانیسم‌های جدید باشیم تا از طریق آن‌ها ضعف هر یک از روش‌های مطرح‌شده را برطرف نموده و کاغذی متناسب با نیاز مشتری، صنایع و... تهیه و تولید نماییم. به‌منظور دست‌یابی به‌این مهم روش‌های جایگزین و مناسبی از قبیل استفاده از فناوری نوین نظیر زیست‌فناوری و نانوفناوری می‌تواند مناسب باشد (همزه و رستم‌پور، ۱۳۸۷).

۱-۲ نانوفناوری و اهمیت آن

فناوری نانو واژه‌ای است کلی که به تمام فناوری‌های پیشرفته در عرصه کار با مقیاس نانو اطلاق می‌شود. معمولاً منظور از مقیاس نانو ابعادی در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد (هادیلام، ۱۳۹۱).

اولین جرقه فناوری نانو (البته در آن زمان هنوز به این نام شناخته نشده بود) در سال ۱۹۵۹ زده شد. در این سال ریچارد فاینمن طی یک سخنرانی با عنوان «فضای زیادی در سطوح پایین وجود دارد» ایده فناوری نانو را مطرح ساخت. وی این نظریه را ارائه داد که در آینده‌ای نزدیک می‌توانیم مولکول‌ها و اتم‌ها را به صورت مسقیم دستکاری کنیم. واژه فناوری نانو اولین بار توسط نوریوتاینگوچی استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷٤ بر زبان‌ها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد (وسایل) دقیقی که تلورانس ابعادی آنها در حد نانومتر می‌باشد، به کار برد. در سال ۱۹۸٦ این واژه توسط کی اریک درکسلر در کتابی تحت عنوان : «موتور آفرینش: آغاز دوران فناوری‌نانو» بازآفرینی و تعریف مجدد شد. وی این واژه را به شکل عمیق‌تری در رساله دکترای خود مورد بررسی قرار داد و بعدها آن‌را در کتابی تحت عنوان «نانوسیستم‌ها، ماشین‌های مولکولی، چگونگی ساخت و محاسبات آن‌ها» توسعه داد (اسدپور، ۱۳۸۹).

تفاوت اصلی فناوری نانو با فناوری‌های دیگر در مقیاس مواد و ساختارهایی است که در این فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته تنها کوچک بودن اندازه مد نظر نیست؛ بلکه زمانی که اندازه مواد در این مقیاس قرار می‌گیرد، خصوصیات ذاتی آن‌ها از جمله رنگ، استحکام، مقاومت به خوردگی و ... تغییر می‌یابد. در حقیقت به خواص ذاتی آن ماده نزدیک‌تر می‌شود.

در طی دهه گذشته پتانسیل توسعه فناوری نانو در بخش جنگل و محصولات جنگلی مشهود بوده است. نانوفناوری ابزار مناسبی را برای توسعه و بهبود مواد بر پایه چوب فراهم می‌آورد. انتظار می‌رود توسعه فرآیندهای جدید از طریق نانوفناوری یک انقلاب بزرگ در محصولات بر پایه چوب و الیاف، خمیر و کاغذ، کامپوزیت‌های چوبی و فرآیندهای تولید ایجاد کند (آتالا[1] و همکاران، ۲۰۰۶).

۱-۳ نانوفناوری در کاغذسازی

امروزه با توجه به کاربرد فناوری نانو در عرصه‌های مختلف صنعتی، استفاده از نانوذرات در صنعت کاغذسازی جایگاه ویژه‌ای یافته و روز به روز ، نوآوری‌ها و کاربردهای مربوط به آن گسترش می‌یابد. یکی از مهمترین نانوذرات مورد استفاده در کاغذسازی می‌توان به نانوبنتونیت و نانوسیلیکات و پرکننده‌هایی از قبیل نانو دی‌اکسید تیتانیوم اشاره کرد. هریک از این مواد به‌منظور دست‌یابی به ویژگی خاص در کاغذ و حتی بهبود فرآیند کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال استفاده از نانو سیلیکای کلوییدی و نانو بنتونیت به‌همراه پلی‌مرهای طبیعی و مصنوعی ازقبیل نشاسته کاتیونی و پلی آکریل آمید کاتیونی جهت بهبود شکل‌گیری و کمک به آبگیری بهتر استفاده می‌شود. همچنین از نانو دی اکسید تیتانیوم به منظور دست‌یابی به ویژگی‌های نوری مناسب، که در بحث چاپ‌پذیری حائز اهمیت است، استفاده می‌شود.

پتانسیل راه‌یابی نانوتکنولوژی در صنعت کاغذسازی به صورت پایلوت و صنعتی وجود دارد لیکن مشکل اصلی در انتقال این مواد به خط تولید کاغذ، مشکل ماندگاری این مواد در پروسه تولید با تجهیزات فعلی صنعتی است که هم‌زمان لزوم اصلاح روش‌ها و ماشین‌آلات این صنعت را در تحقیقاتی موازی با پیشرفت در زمینه نانوساختارهای سلولزی ضروری می‌سازد.

نانوفناوری پتانسیل توسعه‌دادن بسیاری از مواد جدید را دارد که می‌توانند در بخش فرآورده‌های جنگلی استفاده شوند. بسیاری از نانومواد لیگنوسلولزی جدید از قبیل نانوکریستال سلولز[2]، نانوفیبریل سلولز[3]،

---

[1] Beecher
[2] nanocrystal cellulose (NCC)
[3] nanofibril cellulose (NFC)

نانوکامپوزیت‌های زیستی[۱]، لامینه‌ها[۲]، رزین‌ها و ... یا در مرحله تحقیق و توسعه و یا در بازار هستند. در اوایل دهه ۱۹۹۰ ریز ذرات آلی به صنعت عرضه شدند. نانومواد آلی مورد استفاده در کاغذ در قالب رنگ‌ها و پلیمرها بیان می‌شوند. پلیمر خود به دو دسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند که نانوفیبرها و نانوویسکرهای سلولزی جزء دسته پلیمرهای طبیعی با ابعاد نانومتری می‌باشند.

اخیرا سلولز نانوفیبریله شده، که نوع دیگری از نانو مواد می‌باشد، در صنعت کاغذسازی به منظور بهبود خواص فیزیکی و مقاومتی کاغذ مورد توجه قرار گرفته‌است. همچنین اخیرا پتانسیل استفاده از این مواد به منظور کمک به نگهداری پرکننده‌ها در کاغذ مورد بررسی قرار گرفته است که اهمیت این مواد را در صنعت کاغذسازی دو چندان نموده است.

۱-٤ سلولز نانوفیبریله شده

سلولز میکروفیبریله شده اولین بار توسط توربک[۳] و همکاران تولید شد. اصطلاح "میکروفیبریل[٤]" به طور عمده برای توصیف ساختار لیفی سلولز با قطر ۱۰-۲ نانومتر و طول چند میکرومتر، که در سنتز زیستی سلولز تشکیل می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به نظر می‌رسد توربک و همکاران با الهام از این بخش از ساختار دیواره سلول گیاهان اقدام به نام‌گذاری ماده فیبریله تولید شده، نموده‌اند. پس از آن در منابع مختلف از اسامی‌متفاوتی از قبیل نانوفایبر، سلولز نانوفیبریله شده، میکروفیبریل، نانوفیبریل و نانوفیبریلار سلولز استفاده شد (آلمدار و همکاران ۲۰۰۷، حبیبی و همکاران ۲۰۰۹، ژانگ[۵] و همکاران

---

۱ nanobiocomposites

۲ laminates

۳ Turback

٤ Microfibril

۵ Zhang

۲۰۱۲، آبه و همکاران ۲۰۰۷، زولوگا[۱] وهمکاران ۲۰۰۹، فوکوزومی[۲] و همکاران ۲۰۰۹، سایتو[۳] وهمکاران ۲۰۰۷، فوجی‌ساوا[٤] و همکاران ۲۰۱۱، ژو[٥] و همکاران ۲۰۱۱، عبدالخلیل[٦] و همکاران ۲۰۱۲).

به‌نظر می‌رسد با توجه به ابعاد سلولز میکروفیبریله شده (٤٠-۲۰ نانومتر) و روش تهیه و مرفولوژی آن اصطلاح سلولز نانوفیبریله شده مناسب‌ترین نام برای این ماده می‌باشد.

سلولز نانوفیبریله شده در واقعه از میکروفیبریل‌های سلولز تشکیل شده‌است و دارای قطری درحدود ٦۰-۲۰ نانومتر و طول چند میکرومتر می‌باشند. اگر قطر میکروفیبریل‌های ساختار سلولز ۱۰-۲ نانومتر و طول چند ده نانومتر در نظر گرفته شوند، پس سلولز میکروفیبریله شده از ٥۰-۱۰ میکروفیبریل تشکیل شده‌است(لاوین و همکاران ۲۰۱۲).

سلولز نانوفیبریله شده در مقایسه با الیاف سلولز طبیعی دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد: (هو و همکاران ۲۰۱۱)

۱- همگن‌تر
۲- مقاومت کششی بیشتر
۳- ضریب منظر بیشتر
٤- فعالیت شیمیایی بیشتر (به دلیل داشتن گروه‌های هیدروکسیل سطحی بیشتر)
٥- کریستالیته بیشتر
٦- شفافیت بیشتر

---

[۱] Zuluaga
[۲] Fukuzumi
[۳] Saito
[٤] Fujisawa
[٥] Zhu
[٦] Abdul Khalil