

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته  
صنایع خمیر و کاغذ

## تولید و ارزیابی نانو ویسکر سلولز از میکرو کریستال سلولز و استفاده از آن در بهبود ویژگی های کاغذ

پژوهش و نگارش:

محمد جواد پورچنگیز

استاد راهنما:

دکتر الیاس افرا

اساتید مشاور:

دکتر حسین رسالتی

دکتر مهدی مشکور

پاییز ۱۳۹۲

## تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت‌های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می‌شود؛ بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

- ۱- قبل از چاپ پایان‌نامه خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.
- ۲- قبل از چاپ پایان‌نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد، ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.
- ۳- انتشار نتایج پایان‌نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب محمدجواد پورچنگیز دانشجوی رشته صنایع خمیر و کاغذ مقطع کارشناسی ارشد تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

به رسم ادب...

این پایان نامه را تقدیم می‌کنم به

پدر

و

مادر

عزیز و مهربانم

## تشکر و قدردانی

اول سپاس از آن نگارنده غیب که فرصت انجام این پایان‌نامه را به حقیر عطا فرمود و امیدوارم که پایان‌نامه من پسند او افتد.

از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر الیاس افرا به خاطر دقت و نگرش نیک ایشان در مراحل انجام و نگارش این پایان‌نامه و همچنین صبوری ایشان نهایت سپاس‌گزاری را دارم.

از اساتید مشاور عزیزم، جناب آقای دکتر حسین رسالتی و دکتر مهدی مشکور که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی و با رهنمون‌های ارزشمند خود این حقیر را یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

از استاد محترم، جناب آقای دکتر احمدرضا سرائیان نه تنها به این خاطر که داوری این پایان‌نامه و مدیریت جلسه را قبول زحمت نمودند، بلکه به خاطر درسی که از ایشان در این مقطع آموختم سپاسگزارم.

از سرکار خانم مهندس حسین‌خانی، سرکار خانم دکتر پونه ابراهیمی، جناب آقای امید صادقی، یوسفعلی موسی‌پور، جواد عباسی، محمدجواد عباسی فرید، محسن آتش افروز و کلیه دوستانی که مرا در انجام هر چه بهتر این پایان‌نامه یاری نمودند سپاسگزارم.

## چکیده

در این تحقیق، سوسپانسیون نانویسکر سلولز از طریق روش هیدرولیز اسیدی با اسیدسولفوریک از میکروکریستال لیتتر پنبه تهیه گردید. از نانویسکر سلولز حاصل در سطوح مختلف ۳، ۶ و ۹٪ به همراه دو سطح فشار پرس ۳ و ۶ بار، به منظور تقویت خواص فیزیکی و مقاومتی کاغذ استفاده شد. خواص سوسپانسیون نانویسکر با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، آزمون پراکنش دینامیکی نور (DLS)، پراش اشعه ایکس (XRD) و طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) بررسی شد. بر اساس نتایج، در این تحقیق نانویسکر سلولز بسیار باریک با میانگین قطر ۶ نانومتر با ضریب لاغری حدود ۱۳/۵ نانومتر به دست آمد. بار الکتریکی سوسپانسیون نانویسکر سلولز در محدوده بین ۲۶/۵- تا ۷۸/۲- میلی‌ولت (mv) به دست آمد. تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس آشکار کرد که درجه کریستالیت نانویسکر سلولز به ۹۸/۴٪ رسیده است. همچنین نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل FTIR نشان داد که تعداد گروه‌های هیدروکسیل روی سطح نانویسکرها زیاد شده است. نتایج مربوط به خواص فیزیکی و مقاومتی کاغذ نشان داد که از یک طرف افزایش نانویسکر و فشار پرس باعث زیاد شدن مقاومت به ترکیدن، مقاومت به عبور هوا و دانسیته شده و تاثیر مهمی روی مقاومت به پارگی کاغذ نداشته و از طرف دیگر موجب کاهش خواص نوری کاغذ از قبیل ماتی و درجه‌روشنی می‌شود.

**کلمات کلیدی:** هیدرولیز اسیدی، نانویسکر سلولز، فشار پرس، خواص فیزیکی و مقاومتی

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه .....	۲
۱-۱- کلیات .....	۲
۱-۱-۱- خمیر کاغذ، کاغذ و اهمیت کاغذ .....	۲
۱-۱-۲- اهمیت ویژگی‌های کاربردی کاغذ .....	۲
۱-۱-۳- فناوری نانو و اهمیت آن .....	۵
۱-۱-۴- کاربرد فناوری نانو در صنایع کاغذسازی .....	۶
۱-۱-۴-۱- نانومواد معدنی و کاربردها .....	۶
۱-۱-۴-۲- نانومواد آلی و کاربردها .....	۷
۱-۱-۵- کاربرد نانوالیاف سلولزی در صنایع کاغذسازی .....	۷
۱-۱-۶- خواص و ساختار سلولز .....	۸
۱-۱-۷- منابع تأمین‌کننده سلولز و نانوسلولز .....	۱۰
۱-۱-۷-۱- چوب .....	۱۱
۱-۱-۷-۲- گیاهان .....	۱۱
۱-۱-۷-۳- تونیکات .....	۱۱
۱-۱-۷-۴- جلبک‌ها و باکتری‌ها .....	۱۱
۱-۱-۷-۵- میکروکریستال سلولز .....	۱۲
۱-۱-۸- نانومواد سلولزی .....	۱۳
۱-۱-۹- انواع ذرات سلولز .....	۱۴
۱-۱-۹-۱- میکروفیبریل سلولز .....	۱۵
۱-۱-۹-۲- نانوفیبریل سلولز .....	۱۵
۱-۱-۹-۳- نانویسکر سلولز .....	۱۶
۱-۱-۹-۴- میکروکریستال سلولز .....	۱۶
۱-۱-۱۰- کاربرد میکروکریستال سلولز .....	۱۶

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۷	۱-۱-۱۱- نانویسکر سلولز .....
۱۸	۱-۱-۱۲- کاربرد نانویسکر سلولز .....
۱۸	۱-۱۲-۱- نانوکامپوزیت‌ها .....
۱۸	۱-۱۲-۲- کاغذ .....
۱۹	۱-۱۳- سنتز نانویسکر سلولز .....
۲۱	۱-۱۴- ماندگاری در کاغذسازی .....
۲۲	۱-۱۴-۱- گیرکردن مکانیکی یا صاف کردن ذرات .....
۲۲	۱-۱۴-۲- تجمع کلئیدی ذرات .....
۲۳	۱-۱۵- بیان مسئله .....
۲۴	۱-۱۶- فرضیات و اهداف .....
۲۴	۱-۱۶-۱- فرضیات .....
۲۴	۱-۱۶-۲- اهداف .....
۲۶	۲- مرور منابع .....
۲۶	۱-۲- سابقه تحقیق در مورد تهیه و ارزیابی نانوکریستال سلولز .....
۳۱	۲-۲- سابقه تحقیق در مورد کاربردهای نانوکریستال سلولز .....
۳۴	۲-۳- سابقه نانوذرات سلولزی در کاغذ .....
۴۰	۳- مواد و روش‌ها .....
۴۰	۱-۳- مواد .....
۴۰	۱-۳-۱- خمیر کاغذ .....
۴۰	۱-۳-۲- میکروکریستال سلولز .....



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
..... ۳-۱-۳- اسید سولفوریک	۴۰
..... ۴-۱-۳- پلی آکریل آمید کاتیونی	۴۰
..... ۵-۱-۳- لوله دیالیز	۴۱
..... ۲-۳- روش‌ها	۴۱
..... ۱-۲-۳- تهیه سوسپانسیون نانویسکر سلولز	۴۱
..... ۲-۲-۳- جداسازی محلول اسیدی از ذرات سلولز	۴۲
..... ۱-۲-۲-۳- سانتریفیوژ	۴۲
..... ۲-۲-۲-۳- دیالیز	۴۳
..... ۳-۲-۲-۳- تیمار فراصوت	۴۳
..... ۳-۲-۳- آنالیز نانویسکرهای سلولز	۴۵
..... ۱-۳-۲-۳- آنالیز تصویری با میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)	۴۵
..... ۲-۳-۲-۳- طیف سنجی FTIR	۴۵
..... ۳-۳-۲-۳- طیف‌سنجی پرتو پراش ایکس (XRD)	۴۵
..... ۴-۳-۲-۳- اندازه‌گیری اندازه ذرات و پتانسیل زتا	۴۶
..... ۴-۲-۳- آماده‌سازی خمیر کاغذ جهت عملیات پالایش	۴۶
..... ۵-۲-۳- پالایش خمیر و کاغذ	۴۶
..... ۶-۲-۳- اندازه‌گیری درجه روانی خمیر	۴۶
..... ۷-۲-۳- آماده‌سازی سوسپانسیون خمیر	۴۷
..... ۸-۲-۳- ساخت کاغذ دست ساز	۴۷
..... ۹-۲-۳- عوامل متغیر در ساخت کاغذهای دست‌ساز	۴۷
..... ۱۰-۲-۳- اندازه‌گیری خواص کاغذ	۴۷
..... ۱-۱۰-۲-۳- ضخامت	۴۷
..... ۲-۱۰-۲-۳- دانسیته کاغذ	۴۷

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۲-۱۰-۳- مقاومت به عبور هوا.....	۴۸
۳-۲-۱۰-۴- مقاومت به ترکیدن.....	۴۸
۳-۲-۱۰-۵- مقاومت به پاره شدن.....	۴۸
۳-۲-۱۰-۶- درجه روشنی.....	۴۸
۳-۲-۱۰-۷- ماتی.....	۴۹
۳-۳- روش آماری.....	۴۹
۴- نتایج و بحث.....	۵۲
۴-۱- شناسایی و بررسی خصوصیات نانویسکرهای سلولز.....	۵۲
۴-۱-۱- بررسی میکروسکوپی نانویسکرهای سلولز.....	۵۲
۴-۱-۲- میانگین اندازه ذرات.....	۵۴
۴-۱-۳- بار سطحی نانویسکرهای سلولز (پتانسیل زتا).....	۵۵
۴-۱-۴- آزمون پراش اشعه ایکس جهت بررسی درجه بلورینگی.....	۵۷
۴-۱-۵- تجزیه و تحلیل طیف سنجی مادون قرمز- فوریه (FTIR).....	۵۹
۴-۲- تجزیه و تحلیل ویژگی های کاغذ.....	۶۰
۴-۲-۱- خواص فیزیکی کاغذ.....	۶۰
۴-۲-۱-۱- ضخامت.....	۶۰
۴-۲-۱-۲- دانسیته ظاهری.....	۶۲
۴-۲-۱-۳- مقاومت به عبور هوا.....	۶۳
۴-۲-۲- خواص مقاومتی کاغذ.....	۶۵
۴-۲-۲-۱- مقاومت به ترکیدن.....	۶۵
۴-۲-۲-۲- مقاومت به پارگی.....	۶۷
۴-۲-۳- خواص نوری کاغذ.....	۶۸

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۶۸	۴-۲-۳-۱- ماتی
۷۰	۴-۲-۳-۲- درجه روشنی
۷۲	نتیجه گیری کلی
۷۳	پیشنهادات
۷۵	منابع
۸۱	پیوست

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

شکل ۱-۱	موقعیت گروه‌های هیدروکسیل در زنجیر سلولز.....	۹
شکل ۲-۱	تصویر توپوگرافی AFM از میکروکریستال سلولز.....	۱۸
شکل ۳-۱	ریز ساختار سلولز.....	۲۰
شکل ۴-۱	ساختار سلسله مراتبی چوب از درخت به سلولز.....	۲۰
شکل ۵-۱	قسمت‌های کریستالی و آمورف فیبریل‌های سلولزی.....	۲۱
شکل ۶-۱	ساختار سلسله مراتبی سلولز و ساختار شیمیایی یک واحد سلوبیوز.....	۲۱
شکل ۳-۳	شمایی کلی از مراحل تولید نانویسکر به روش هیدرولیز اسیدی.....	۴۴
شکل ۱-۴	تصویر AFM نانویسکر سلولز.....	۵۳
شکل ۲-۴	تصویر AFM نانویسکر سلولز.....	۵۳
شکل ۳-۴	نمودار شدت توزیع اندازه ذرات تهیه شده توسط دستگاه DLS.....	۵۵
شکل ۴-۴	بار سطحی نانویسکرهای سلولز تعیین شده توسط دستگاه DLS.....	۵۷
شکل ۵-۴	الگوی پراش اشعه X از نانویسکر سلولز تهیه شده به روش هیدرولیز اسیدی.....	۵۸
شکل ۶-۴	طیف FTIR میکروکریستال سلولز لیتتر پنبه و نانویسکر سلولز.....	۶۰
شکل ۷-۴	تاثیر سطوح مختلف نانویسکر سلولز و فشار پرس بر ضخامت کاغذ.....	۶۱
شکل ۸-۴	تاثیر سطوح مختلف نانویسکر سلولز و فشار پرس بر دانسیته کاغذ.....	۶۳
شکل ۹-۴	تاثیر سطوح مختلف نانویسکر سلولز و فشار پرس بر مقاومت به عبور هوا کاغذ.....	۶۴
شکل ۱۰-۴	تاثیر سطوح مختلف نانویسکر سلولز و فشار پرس بر مقاومت به پارگی.....	۶۶
شکل ۱۱-۴	تاثیر سطوح مختلف نانویسکر سلولز و فشار پرس بر شاخص مقاومت به ترکیدن.....	۶۸
شکل ۱۲-۴	تاثیر سطوح مختلف نانویسکر سلولز و فشار پرس بر ماتی کاغذ.....	۶۹
شکل ۱۳-۴	تاثیر سطوح مختلف نانویسکر سلولز و فشار پرس بر درجه روشنی کاغذ.....	۷۱

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۸۲	جدول ۱ نتایج آزمون تجزیه واریانس ضخامت
۸۲	جدول ۲ نتایج آزمون تجزیه واریانس دانسیته
۸۲	جدول ۳ نتایج آزمون تجزیه واریانس مقاومت به عبور هوا
۸۲	جدول ۴ نتایج آزمون تجزیه واریانس تست پاره شدن
۸۳	جدول ۵ نتایج آزمون تجزیه واریانس ترکیدن
۸۳	جدول ۶ نتایج آزمون تجزیه واریانس ماتی
۸۳	جدول ۷ نتایج آزمون تجزیه واریانس درجه روشنی

# فصل اول

## مقدمه

## ۱- مقدمه

## ۱-۱- کلیات

## ۱-۱-۱- خمیر کاغذ، کاغذ و اهمیت کاغذ

پختن چوب و مواد لیگنوسلولزی با استفاده یا بدون استفاده از مواد شیمیایی منجر به انحلال یا نرم شدن ماده چسب مانندی می‌شود که لیگنین نام دارد. این ماده الیاف چوب را کنار یکدیگر نگه‌داشته است و با نرم شدن یا حل شدن، الیاف چوب به سادگی از هم جدا می‌شوند که منجر به تشکیل ماده خام لیفی می‌شود که خمیر نامیده می‌شود و به عنوان ماده اصلی در تهیه کاغذ به‌کار می‌رود.

کاغذ ورقه‌ای است که پس از خارج کردن آب از سوسپانسیونی از الیاف به دست می‌آید. کاغذ و فرآورده‌های کاغذی بر حسب نیاز در ضخامت‌های مختلفی تهیه می‌شوند. معمولاً ورقه‌های با ضخامت بیش از ۳۰۰ میکرون مقوا نامیده می‌شوند (میرشکرایی، ۱۳۸۷).

کاغذ به‌عنوان یک کالای استراتژیک، نقش اساسی در گسترش فرهنگ دارد. علیرغم پیدایش فناوری‌های جدید، هنوز کاغذ مطمئن‌ترین ابزار در ارتباطات به حساب می‌آید و به نظر می‌رسد این کالا جایگاه خود را در آینده حفظ کرده و حتی بهبود بیخشد. تنوع محصولات کاغذی، زیست تخریب‌پذیر بودن و قابل بازیافت بودن از جمله دلایلی هستند که باعث شده است کاغذ رقابت‌پذیری خود را در برابر سایر فرآورده‌های مشابه حفظ کند. گسترش روزافزون جمعیت و به تبع آن نیاز به توسعه سطح فرهنگ از عواملی هستند که بر روند افزایش محصولات کاغذی تاثیر گذاشته است. به همین دلیل است که مصرف سرانه کاغذ به عنوان شاخصی از رشد و توسعه فرهنگی در نظر گرفته می‌شود (قاسمیان، ۱۳۹۰). لذا به دلایل ذکر شده ضرورت تحقیق و مطالعه در این زمینه اهمیت پیدا می‌کند.

## ۱-۱-۲- اهمیت ویژگی‌های کاربردی کاغذ

از جمله الزامات مهم در بحث کاغذسازی که هر کاغذساز بایستی آن را متناسب با نیاز مشتری در نظر بگیرد؛ ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ می‌باشد. کاغذهای تولید شده عمدتاً جهت بسته‌بندی محصولات و مصارف چاپ و تحریر استفاده می‌شوند. هر یک از این کاربردها نیازهای خاصی از ویژگی‌ها را متناسب با عملکرد و شرایط آن کالا می‌طلبد. کاغذهای بسته‌بندی (نیازمند چاپ) و چاپ

و تحریر ضمن برخورداری از خواص مقاومتی مناسب، می‌بایست از خواص فیزیکی و ممانعتی مناسبی بسته به کاربرد آن برخوردار باشد. برخی ویژگی‌های مهم که در عملکرد کاغذهای چاپ و تحریر حائز اهمیت می‌باشند عبارتند از:

(الف) مقاومت کافی برای تحمل تاپ، تازدن، ساییدگی، جابه‌جایی زیاد و....

(ب) مقاومت سطحی کافی برای تحمل سایش

(پ) سفتی کافی و انعطاف برگشت‌پذیر

(ت) مقاومت مناسب در برابر نفوذ مرکب

(ث) ماتی کافی جهت ممانعت از پشت‌نمایی

(ج) دوام مناسب.

ویژگی‌های مقاومتی کاغذ به دلیل تاثیر ویژه‌ای که فرایند تبدیلی و رطوبت روی آن می‌گذارد، عمدتاً به دو صورت خشک و تر تقسیم می‌شوند. مقاومت کاغذ متاثر از متغیرهای گوناگونی از قبیل مواد اولیه و فرایند تولید می‌باشد. در بحث مواد اولیه، نوع الیاف و مواد افزودنی مورد استفاده تاثیر مهمی روی خواص کاغذ دارند. به‌عنوان مثال پرکننده‌ها مقاومت کاغذ را کاهش می‌دهند اما برخی خواص نوری را بهبود می‌دهند. از نظر فرایند تولید، PH سیستم، تغییر در فشار پرس تر و پالایش الیاف از جمله مواردی می‌باشند که در بحث فرایند تولید به‌عنوان عوامل تاثیرگذار روی خواص کاغذ مطرح می‌باشند. همانطور که اشاره شد روش‌های مختلفی جهت بهبود یا تغییر ویژگی‌های کاغذ وجود دارد که در ذیل به شرح مختصری راجع به برخی از این روش‌ها اشاره می‌کنیم.

پالایش الیاف متداول‌ترین شیوه استفاده شده جهت بهبود برخی خواص کاغذ می‌باشد. این عملیات سبب تغییر مکانیکی الیاف می‌شود تا خصوصیات مورد نیاز در الیاف جهت تشکیل کاغذ یا مقوا با خواص مطلوب حاصل شود. پالایش در درجه اول از راه افزایش پیوندهای بین لیفی بر خواص مقاومتی کاغذ تاثیر می‌گذارد. این عملیات سبب افزایش سطح پیوند می‌شود که سبب انطباق بیشتر الیاف بر روی یکدیگر در نقاط تماس، افزایش دانسیته و ایجاد ساختاری با پیوندهای بیشتر می‌شود.

پالایش سبب بهبود برخی خواص کاغذ از جمله مقاومت کششی، ترکیدن، دانسیته و شکل‌گیری می‌شود. از طرف دیگر پالایش سبب کاهش خواص نوری کاغذ از جمله ماتی و درجه روشنی می‌شود. علاوه بر خواص نوری پالایش سبب کاهش مقاومت به پارگی، ثبات ابعادی، کاهش تخلخل و... می‌شود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که تعداد محدودی از خواص کاغذ همزمان از طریق پالایش



بهبود می‌یابد. این وضعیت هنگامی که با شرایط فرایندی از جمله آبگیری از خمیر، قابلیت گذر و هزینه‌های بسیار پیچیده همراه شود، محسوس تر می‌باشد.

بیشتر پلیمرهای محلول در آب که توانایی تشکیل پیوند هیدروژنی دارند، می‌توانند به‌عنوان افزودنی مقاومت خشک و تر عمل کنند. در واقع در بحث الیاف خمیر می‌توان این چنین بیان کرد که الیاف حاصل از چوب دارای افزودنی‌های مقاومت خشک طبیعی یعنی همی سلولز می‌باشند. بنابراین حذف همی سلولزها از الیاف چوب موجب بروز مشکلات زیادی در ویژگی‌های پیوندی الیاف می‌شود. از جمله افزودنی‌های رایج مقاومت خشک می‌توان به مشتقات نشاسته، صمغ، مواد سنتزی افزاینده مقاومت خشک و موادی دیگر نظیر نشاسته آنیونی یا نشاسته تغییر نیافته، مشتقات قابل حل سلولز، رزین‌های مقاومت تر، پلی‌وینیل‌الکل و لاتکس اشاره کرد.

از جمله مزایای استفاده از افزودنی‌های خشک و تر این می‌باشد که کاغذساز را قادر می‌سازد که تا ترکیبی از خواص کاغذ را که از طریق پالایش قابل دستیابی نیست به‌دست آورد. به‌عنوان مثال خواص مقاومتی کاغذ ممکن است بدون تاثیر نامطلوب بر حجم کاغذ یا خواص ظاهری کاغذ بهبود یابد. از دیگر مزایای این افزودنی‌ها بهبود خواص کاغذ در مقابل رطوبت و آب می‌باشد. برخی از افزودنی‌ها یا پلیمرهای محلول در آب حاوی گروه‌های آمید نوع اول می‌باشند که می‌توانند با مولکول‌های سلولز موجود در سطح الیاف، پیوند هیدروژنی تشکیل داده و پیوند بین الیاف را بهبود ببخشند که نتیجه آن بهبود مقاومت می‌باشد.

اما مشکل عمده این افزودنی‌های ماندگاری بسیار کم (مثلاً در مورد نشاسته طبیعی) می‌باشد. همچنین از نظر اقتصادی و زیست محیطی نامطلوب می‌باشد. این مواد سبب به‌وجود آمدن مشکلات فرایندی و حتی تغییر در خواص کاغذهای تهیه شده می‌شوند.

یکی دیگر از راه‌های ایجاد تغییر در ویژگی‌های کاغذ، تغییر در فشار پرس می‌باشد. فشار پرس سبب بهبود مقاومت‌ها و کاهش ماتی می‌شود. مکانیسم پرس بدین صورت می‌باشد که از طریق کوتاه کردن فاصله پیوند و افزایش سطح تماس بین الیاف سبب بهبود مقاومت‌های کاغذ می‌شود. افزایش فشار پرس سبب به‌وجود آمدن برخی مشکلات از جمله کاهش حجیمی و برخی خواص ویژه کاغذ می‌شود (همزه و رستم‌پور، ۱۳۸۷).

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 مطرح شده را برطرف نموده و کاغذی متناسب با نیاز مشتری، صنایع و... تهیه و تولید نماییم. علاوه بر مسائل و مشکلات درون کارخانه‌ای که در بالا به آن اشاره شد، یک سری از مسائل فراکارخانه‌ای نیز باعث شده است که توجه اساسی نسبت به بحث ارتقاء ویژگی‌های کاغذهای چاپ و تحریر و بسته‌بندی صورت بگیرد. از جمله این مسائل می‌توان به پیشرفت‌های تکنولوژیکی (افزایش سرعت ماشین‌های چاپ)، نیاز به توسعه روز افزون سطح فرهنگ، تقاضای مشتریان نسبت به محصولات با بسته‌بندی‌های با کیفیت و مسائل اقتصادی و زیست محیطی و لزوم استفاده از محصولات کاملاً سبز اشاره کرد. این مسائل سبب شده است که 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 باشد. به‌منظور دستیابی به این مهم روش‌های جایگزین و مناسبی از قبیل استفاده از فناوری‌های نوین نظیر زیست فناوری و نانوفناوری می‌تواند مناسب باشد. در این تحقیق قصد داریم بحث نانوفناوری را به‌عنوان یک راهکار اجرایی مطرح و بررسی کنیم.

### ۱-۱-۳- فناوری نانو<sup>۱</sup> و اهمیت آن

نانو فناوری تقریباً یک زمینه جدید از تحقیق و توسعه علوم مختلف می‌باشد. دامنه‌ی کاربرد فناوری نانو گسترده می‌باشد. این فناوری تعهد می‌کند که زندگی بشر را بهبود ببخشد. فناوری نانو در محصولات زیادی که در بازار هستند، استفاده شده است. از جمله این مواد می‌توان به برخی کرم‌های ضد آفتاب، وسایل ورزشی، پوشاک، الکترونیک، و بسته‌بندی اشاره کرد. تاکنون بیش از ۶۰۰ محصول آرایشی با استفاده از فناوری نانو شناخته شده است.

نانوفناوری یک زمینه بین رشته‌ای از فناوری و علوم کاربردی می‌باشد که با مواد در مقیاس مولکولی و اتمی در محدوده اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر سروکار دارد. ذرات و مواد با این ابعاد، خواص فیزیکی و بیولوژیکی منحصر به فردی در مقایسه با ذرات با ابعاد بزرگتر نشان می‌دهند. نانوفناوری چندین رشته مختلف از قبیل مهندسی شیمی، فیزیک، بیولوژی، مواد، علم کلویید و... را به هم متصل

می‌کند. برای بیشتر افراد درک ابعاد بسیار کوچک ( $10^{-9}$ ) مشکل است. جهت تفهیم این موضوع می‌توان یک سلول قرمز خون را مثال زد که تقریباً ۸۰۰۰ نانومتر است (بیچر<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). در طی دهه گذشته پتانسیل توسعه فناوری نانو در بخش جنگل و محصولات جنگلی مشهود بوده است. نانوفناوری یک ابزار مناسبی را برای توسعه و بهبود مواد بر پایه چوب فراهم می‌آورد. انتظار می‌رود توسعه فرایندهای جدید از طریق نانوفناوری یک انقلاب بزرگ در محصولات بر پایه چوب و الیاف، خمیر، کاغذ، کامپوزیت‌های چوبی، فرایندهای تولید ایجاد کند (آتالا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

### ۱-۱-۴- کاربرد فناوری نانو در صنایع کاغذسازی

کاغذسازان به‌منظور دستیابی به برخی خواص ویژه در کاغذ از مواد افزودنی شیمیایی استفاده می‌کنند. برخی مواد افزودنی که به‌طور متداول در کاغذسازی استفاده می‌شوند، عمدتاً قطری در محدوده ۱-۵ نانومتر دارند. به‌طور کلی نانومواد مورد استفاده در کاغذسازی به دو دسته نانومواد معدنی و آلی تقسیم می‌شوند.

#### ۱-۱-۴-۱- نانومواد معدنی و کاربردها

از جمله نانومواد معدنی مورد استفاده در صنایع کاغذسازی می‌توان به نانوبتونیت، نانوسیلیکات و پرکننده‌هایی از قبیل نانودی‌اکسید تیتانیم و... اشاره کرد. هر یک از این مواد در کاغذ به منظور رسیدن به ویژگی‌های خاص در کاغذ و حتی بهبود عملکرد فرایند کاغذسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال در بحث بهبود فرایند کاغذسازی از قبیل آبگیری و ماندگاری ذرات از مواد افزودنی نظیر سیلیکای کلونیدی و بتونیت استفاده می‌شود و گاهی یکی از این دو ماده به‌همراه نشاسته کاتیونی یا پلیمر پلی‌آکریل‌امید کاتیونی جهت بهبود آبگیری و ماندگاری کاغذ استفاده می‌شود. همچنین جهت ارتقاء برخی خواص نوری که در بحث چاپ و تحریر حائز اهمیت می‌باشد از پرکننده‌های مختلفی استفاده می‌شود که معمولاً ابعادشان در حد نانو می‌باشد. از جمله این مواد می‌توان به نانوآکسید تیتانیوم و... اشاره کرد.

---

1- Atalla

2- Beecher

### ۱-۱-۴-۲- نانو مواد آلی و کاربردها

نانوفناوری پتانسیل توسعه دادن بسیاری از مواد جدید را دارد که می‌توانند در بخش محصولات جنگلی به کار روند. بسیاری از نانوالیاف جدید (نانوکریستال سلولز<sup>۱</sup>، نانوفیبریل سلولز<sup>۲</sup>، نانوکامپوزیت‌های زیستی<sup>۳</sup>، لامینه‌ها<sup>۴</sup>، رزین‌ها و محصولات لیگنوسلولزی یا در مرحله تحقیق و توسعه و یا در بازار هستند. نانو مواد جدید از طریق پیشرفت فناوری و فرصت‌های تحقیقاتی، به بخش محصولات جنگلی قوت مضاعفی خواهند داد. در اوایل دهه ۱۹۹۰ ریز ذرات آلی به صنعت عرضه شدند. نانو مواد 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.

### ۱-۱-۵- کاربرد نانوالیاف سلولزی در صنایع کاغذسازی

تحقیقات متفاوتی تاکنون در زمینه کاربرد نانوالیاف سلولزی برای تولید فرآورده‌های کاغذی گزارش شده است (مانینن و همکاران، ۲۰۱۱ و سیورود و استنیوس، ۲۰۰۹). بر اساس این تحقیقات، به کارگیری نانوالیاف سلولزی سبب تقویت فرآورده‌های کاغذی می‌گردد. اگرچه میزان تقویت‌کنندگی با توجه به نوع نانوالیاف سلولزی به کار گرفته شده متفاوت می‌باشد. به طور کلی نانوالیاف سلولزی در کاغذسازی در هر دو بخش تر و خشک می‌توانند به کار گرفته شوند. در کاربرد نانوالیاف در بخش تر، به نظر می‌رسد محیط قلبایی به دلیل افزایش بار الکتریکی منفی که منجر به نیروهای دافعه و در نتیجه کاهش اثرات متقابل که منجر به افت گرانش می‌شود، مناسب‌تر از محیط اسیدی باشد. الیاف سلولزی به دلیل سطح ویژه وسیع (۱۸۲/۷۹ متر مربع بر گرم) و نسبت طول به قطر زیاد (آرندت<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۱)، به عنوان تقویت‌کننده در بخش تر کاغذسازی باعث افزایش مقاومت (حسن و همکاران، ۲۰۱۱) و کاهش قابلیت آبگیری و جذب آب از خمیر کاغذ می‌شوند و این تغییرات با افزایش

1- nanocrystal cellulose (NCC)

2- nanofibril cellulose (NFC)

3- nanobiocomposites

4- laminates

5- Arndt