دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

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

تولید نانوویسکر سلولز از ساقه پنبه و بهینه‌یابی شرایط هیدرولیز اسیدی

پژوهش و نگارش:
مهدیه مازندرانی

استاد راهنما:
دکتر علی قاسمیان

اساتید مشاور:
دکتر احمدرضا سرائیان
دکتر مهدی مشکور

پاییز ۱۳۹۲

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه‌های 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 دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

۱- قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را قبلا به طور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.
۲- قبل از چاپ پایان نامه 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 باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **مهدیه مازندرانی** دانشجوی **رشته مهندسی صنایع خمیر و کاغذ** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی و امضاء

تقدیم به

دانشجویان و ره پویان طریق دانش

به نام یگانه معبود هستی

آنکه ازلی است وعالم، آنکه نور است و علم را به نورش کامل گردانید و چراغی شد بدست برترین انسانها و ذاتا در وجودشان قرار داد تا راستترین سیر الی الله را به ما بیاموزند.

بارالها!

یاریم کن که قطره ای از دریای بیکران علمت نصیب من شود، تا وسیله قرب من به سویت گردد و نیز اندوخته ی آخرت.

تقدیر و تشکر فراوان از پدر و مادر مهربانم که در این طریق مشوق و حامی بوده اند و به واسطه دعای خیرشان و زحمات بی بدیلشان توانستم قطره ای از این دریای بیکران علم و دانش را کسب نمایم.

از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر علی قاسمیان به پاس راهنمایی های بی دریغ علمی و کمک های ارزنده سپاسگزاری و قدردانی می نمایم. از استاید مشاور محترم جناب آقای دکتر احمدرضا سرانیان و جناب آقای دکتر مهدی مشکور که با راهنمایی های ارزنده شان در مراحل تحصیل و تحقیق مرا یاری نمودند، بسیار سپاسگزارم. از آقای دکتر محمدرضا دهقانی که زحمت باز خوانی این رساله را متقبل شدند و همچنین مدیریت جلسه دفاع را بر عهده داشتند، کمال تشکر را دارم.

همچنین از زحمات و مساعدت های صمیمانه جناب آقای دکتر سیدرحمان جعفری و همچنین پرسنل محترم کارگاه و آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ، سرکار خانم مهندس حسین خانی کمال تشکر را دارم.

از ستاد انجمن فناوری نانو که در امور پژوهشی پایان نامه حمایت ویژه ای داشته اند، بسیار سپاسگزارم. از دوست بسیار عزیزم سرکار خانم الهه مهری به خاطر همکاری و کمک های بی دریغش نهایت تشکر را دارم.

همچنین از کلیه عزیزانی که در گردآوری این مجموعه مرا صادقانه یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

با توجه به نقش و اهمیت فناوری نانو در پیشرفت علم، استفاده از این فناوری در ارتقاء علوم مهندسی به ویژه علوم مهندسی خمیر و کاغذ ضرورت پیدا کرده است. بدین منظور در پژوهش حاضر با مطالعه تولید نانوویسکر سلولز از ساقه پنبه و بهینه‌یابی شرایط هیدرولیز اسیدی تلاش فراوانی برای به‌کارگیری این فناوری شده است. در این بررسی، آماده‌سازی ساقه پنبه با هدف تهیه آلفاسلولز طی سه مرحله‌ی تهیه خمیر سودا–آنتراکینون، لیگنین‌زدایی و تیمار قلیایی انجام شد.

هیدرولیز اسیدی آلفاسلولز تهیه شده به‌وسیله اسید سولفوریک ٦٤ درصد با دو پارامتر متغیر زمان و دمای هیدرولیز اسیدی در زمان‌های ۲۵، ۳۵ و ٤٥ دقیقه و دماهای ۳۵، ٤٥ و ۵۵ درجه سانتی‌گراد به منظور دست‌یابی به شرایط بهینه تولید نانوکریستال سلولز انجام گرفت. سپس به‌وسیله‌ی میکروسکوپ نیروی اتمی، آنالیز پراش پرتو ایکس و آنالیز پراکنش دینامیکی نور، قطر نانوکریستال، درجه کریستالیته، بازده تولید نانوکریستال‌های سلولز و ... مشخص گردید. براساس تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی، تیمارهای شدیدتر در تولید کریستال‌ها موثرتر بوده‌اند. نتایج پراش پرتو ایکس نشان داد که مراحل آماده‌سازی آلفاسلولز و همچنین تیمارهای هیدرولیز اسیدی در افزایش درجه کریستالیته نیز تاثیر بسیاری داشته است. براساس نتایج پراکنش دینامیکی نور، بیشترین مقدار بازده ۳۱/۹۱ درصد بود که مربوط به تیمار با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ٤٥ دقیقه می‌باشد. ۹۸/۷ درصد کریستال‌های تولید شده در تیمار مذکور در محدوده قطری ۹۵–۱۸ نانومتر بودند که بیشترین فراوانی آن‌ها ۳۹–۱۸ نانومتر بوده است. لذا شرایط تیمار مذکور به عنوان بهترین شرایط تولید نانوکریستال سلولز از ساقه پنبه تعیین شد.

کلید واژه: فناوری نانو، هیدرولیز اسیدی، نانوکریستال سلولز، ساقه پنبه.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۱-۱ تاریخچه فناوری نانو ۲

۱-۱-۲ مفاهیم بنیادی ۳

۱-۱-۳ تعریف فناوری نانو ۳

۱-۱-٤ تعریف استاندارد ۳

۱-۱-۵ شاخه‌های اصلی در نانوفناوری ٤

۱-۱-٦ حوزه کاربرد در صنعت ٤

۱-۱-۷ کاربرد فناوری نانو در صنعت کاغذ ۵

۱-۲ ریزساختار چوب ۷

۱-۲-۱ ترکیبات و عناصر ساختمانی ۷

۱-۲-۲ لایه‌های دیواره سلولی ۸

۱-۲-۳ الیگوساکاریدها و پلی‌ساکاریدها ۱۰

۱-۲-٤ سلولز ۱۱

۱-۳ روش‌های تولید نانوذرات سلولزی ۱۲

۱-٤ هیدرولیز اسیدی ۱۳

۱-۵ آشنایی با انواع نانوسلولز ۲۱

۱-٦ مرفولوژی و فرم هندسی نانوکریستال‌های سلولز ۲۲

۱-۷ منابع سلولزی مورد استفاده ۲۳

۱-۷-۱ چوب ۲۳

۱-۷-۲ گیاهان ۲۳

۱-۷-۳ تونیکات ۲٤

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱-۷-٤ جلبک ۲٤
۱-۷-۵ باکتری ۲۵
۱-۸ ساقه پنبه ۲٦
۱-۸-۱ پنبه ۲٦
۱-۸-۲ ارقام پنبه در ایران ۲٦
۱-۸-۳ خصوصیات گیاه پنبه ۲٦
۱-۸-٤ سازگاری ۲۷
۱-۸-۵ رقم ساحل ۲۷
۱-۹ روش پیشنهادی شده برای تولید نانوکریستالی سلولز از میکروکریستال سلولز ۲۹
۱-۱۰ روش‌های تهیه آلفاسلولز ۳۰
۱-۱۰-۱ روش تهیه خمیر کاغذ ۳۱
۱-۱۰-۱-۱ لیگنین‌زدایی ۳۲
۱-۱۰-۱-۲ جداسازی همی‌سلولز ۳۳
۱-۱۰-۲ روش تهیه پودر ۳٤
۱-۱۰-۲-۱ مرحله استخراج ۳٤
۱-۱۱ تولید نانوکریستال سلولز ۳٤
۱-۱۱-۱ هیدرولیز ۳٤
۱-۱۱-۲ مرحله سانتریفوژ ۳٦
۱-۱۱-۳ مرحله دیالیز ۳٦
۱-۱۱-٤ مرحله آلتراسونیک ..... ۳٦.
۱-۱۲- تعریف مساله، فرضیه و هدف ۳۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل دوم: سابقه تحقیق

۲-۱ سابقه تحقیق ٤٠

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ نمونه‌برداری ٥٢

۳-۱-۱ محل نمونه‌برداری ٥٢

۳-۱-۲ روش نمونه‌برداری ٥٢

۳-۲ روش تهیه آلفاسلولز با استفاده از تهیه پودر ٥٢

۳-۲-۱ تهیه پودر عاری از مواد استخراجی ٥٢

۳-۲-۱-۱ مواد شیمیایی ٥٢

۳-۲-۱-۲ استخراج با آب جوش ٥٣

۳-۲-۱-۳ استخراج با اتانول-تولوئن ٥٣

۳-۲-۲ لیگنین‌زدایی ٥٤

۳-۲-۲-۱ مواد شیمیایی ٥٤

۳-۲-۲-۲ روش انجام کار ٥٤

۳-۲-۳ تیمار قلیایی ٥٤

۳-۲-۳-۱ مواد شیمیایی ٥٤

۳-۲-۳-۲ روش انجام کار ٥٤

۳-۲-٤ آزمون تعیین آلفاسلولز ٥٥

۳-۲-٤-۱ مواد شیمیایی ٥٥

۳-۲-٤-۱ روش انجام کار ٥٥

۳-۳ روش تهیه آلفاسلولز با استفاده از تهیه خمیر کاغذ ٥٦

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۳-۱ تهیه خمیر سودا-آنتراکینون ٥٦
۳-۳-۱-۱ مواد شیمیایی ٥٦
۳-۳-۱-۲ روش انجام کار ٥٦
۳-۳-۲ لیگنین‌زدایی ٥٧
۳-۳-۳ تیمار قلیایی ٥٧
۳-۳-٤ آزمون تعیین آلفاسلولز ٥٧
۳-٤ هیدرولیز اسیدی ٥٧
۳-٤-۱ رقیق‌سازی اسید ٥٧
۳-٤-۱-۱ مواد شیمیایی ٥٧
۳-٤-۱-۲ روش انجام کار ٥٨
۳-٤-۲ هیدرولیز اسیدی ٥٨
۳-٥ تعیین بازده ٥٩
۳-٦ روش‌های میکروسکوپی آنالیز ٦٠
۳-٦-۱ میکروسکوپ نیروی اتمی ٦٠
۳-٦-۲ پراش پرتو ایکس ٦٠
۳-٦-۳ پراکنش دینامیکی نور ٦١

فصل چهارم: نتایج

٤-۱ روش تهیه آلفاسلولز با استفاده از پودر ساقه پنبه ٦٦
٤-۱-۱ مواد استخراجی قابل حل در آب داغ ٦٦
٤-۱-۲ مواد استخراجی قابل حل در اتانول/ تولوئن ٦٦
٤-۱-۳ لیگنین‌زدایی ٦٧

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

٤-١-٤ تهیه آلفاسلولز ٦٧
٤-٢ روش تهیه آلفاسلولز با استفاده از خمیر کاغذ ساقه پنبه ٦٧
٤-٢-١ خمیر سودا-آنتراکینون ٦٧
٤-٢-٢ لیگنین‌زدایی ٦٨
٤-٢-٣ تهیه آلفاسلولز ٦٨
٤-٣ مقایسه درجه کریستالیته نانوکریستال سلولز با پراش پرتو ایکس ٦٩
٤-٤ آنالیز تصویری میکروسکوپ نیروی اتمی ٧٢
٤-٥ تعیین بازده ٧٩
٤-٦ آنالیز پراکنش دینامیکی نور ٧٩

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

٥-١ شرایط بهینه پخت سودا-آنتراکینون ٨٤
٥-٢ مقایسه روش‌های تولید آلفاسلولز ٨٤
٥-٣ مقایسه درجه کریستالیته نانوکریستال سلولز با پراش پرتو ایکس ٨٥
٥-٤ آنالیز تصویری میکروسکوپ نیروی اتمی ٨٦
٥-٥ تعیین بازده ٨٧
٥-٦ آنالیز توزیع ذرات ٨٨
٥-٧ انتخاب روش بهینه تولید نانوکریستال سلولز ٨٩
٥-٨ نتیجه‌گیری ٩٠
٥-٩ پیشنهادات ٩٢
منابع ٩٤

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ شرایط مطلوب هیدرولیز اسیدی با استفاده از اسید سولفوریک و اسید کلریدریک ۱۷
جدول ۱-۲ افزایش مقدار بار سطحی با افزایش زمان هیدرولیز و کاهش طول ویسکر ۱۸
جدول ۱-۳ ابعاد نانوویسکر سلولز تهیه شده از اسید سولفوریک ۱۹
جدول ۱-٤ تاثیر شرایط هیدرولیز بر ویژگی‌های سوسپانسیون ۲۰
جدول ۱-۵ تحقیقات انجام شده بر روی ترکیبات شیمیایی گونه‌ی ساقه پنبه ۲۸
جدول ۱-٦ تحقیقات انجام شده بر روی ویژگی‌های مرفولوژیکی گونه‌ی ساقه پنبه ۲۸
جدول ۳-۱ شرایط پخت خمیر سودا- آنتراکینون ساقه پنبه ٥٦
جدول ۳-٤ متغیرهای هیدرولیز اسیدی ۵۸
جدول ٤-۱ مقدار مواد استخراجی قابل حل در آب داغ ٦۲
جدول ٤-۲ مقدار مواد استخراجی قابل حل در اتانول/تولوئن ٦۲
جدول ٤-۳ مقدار آلفاسلولز حاصل از پودر ساقه پنبه ٦۷
جدول ٤-٤ پخت خمیر سودا- آنتراکینون ساقه پنبه ٦۸
جدول ٤-۵ مقدار آلفاسلولز حاصل از خمیر ساقه پنبه ٦۸
جدول ٤-٦ درجه کریستالیته مراحل آماده‌سازی و تیمارهای هیدرولیز اسیدی ٦۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ ترکیبات دیواره سلولی چوب و میکرو فیبریل سلولز شامل: مناطق آمورف و کریستالین... ۱۰
شکل ۱-۲ ساختار سلولز ۱۱
شکل ۱-۳ ساختار سه بعدی سلولزI ۱۲
شکل ۱-٦ مکانیسم هیدرولیز به‌وسیله‌ی اسید سولفوریک ۱۵
شکل ۱-۷ مکانیسم هیدرولیز به‌وسیله‌ی اسید کلریدریک ۱٦
شکل ۱-۸ مراحل تولید نانوکریستال سلولز از میکروکریستال سلولز با روش هیدرولیز اسیدی ۳۰
شکل ۱-۹ مکانیسم هیدرولیز اسیدی مناطق آمورف ۳٤
شکل ۱-۱۰ مکانیسم عملکرد دستگاه فراصوت ۳٦
شکل ۲-۱ تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوکریستال در ۳۰ دقیقه..... ٤۱
شکل ۲-۲ تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری از نانوکریستال سلولز کاه گندم..... ٤۲
شکل ۳-۱ دستگاه میکروسکوپ الکترونی..... ٦۰
شکل ۳-۲ دستگاه پراش پرتو ایکس..... ٦۱
شکل ۳-۳ دستگاه تعیین توزیع اندازه ذرات..... ٦۳
شکل ٤-۱ الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های اولیه..... ۷۰
شکل ٤-۲ الگوی پراش پرتو ایکس تیمارهای هیدرولیز اسیدی..... ۷۱
شکل ٤-۳ تصاویر میکروسکوپ نیروی اتمی نانوکریستال‌های سلولز در تیمارهای متفاوت..... ۷۳
شکل ٤-٤ تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی نانوکریستال سلولز در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ٤۵ دقیقه (G)..... ۷٤
شکل ٤-۵ تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی نانوکریستال سلولز در دمای ٤۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ٤۵ دقیقه (H)..... ۷۵
شکل ٤-٦ تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی نانوکریستال سلولز در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ٤۵ دقیقه (I)..... ۷٦

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٧ تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی نانوکریستال سلولز در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۲۵ دقیقه (C)..... ۷۷
شکل ٤-٨ تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی نانوکریستال سلولز در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۳۵ دقیقه (F)..... ۷۸
شکل ٤-٩ قطر کریستال‌های سلولز در تیمارهای هیدرولیز اسیدی..... ۸۱
شکل ٤-١٠ پتانسیل زتای نانوکریستال‌های سلولز در تیمارهای هیدرولیز اسیدی..... ۸۲
شکل ۵-١ تاثیر مراحل آماده‌سازی آلفاسلولز بر درجه‌ی کریستالیته..... ۸٦
شکل۵-٢ تاثیر تیمارهای هیدرولیز اسیدی بر درجه کریستالیته..... ۸٦
شکل۵-٣ تاثیرشدت تیمار هیدرولیز اسیدی در بازده نانوکریستال‌ها..... ۸۷
شکل۵-٤ تاثیر شدت تیمار در پتانسیل زتا..... ۸۹

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱ مقدمه

۱-۱-۱ تاریخچه فناوری نانو

اولین جرقه فناوری نانو در سال ۱۹۵۹ زده شد (البته در آن زمان هنوز به این نام شناخته نشده بود). در ۲۹ دسامبر ۱۹۵۹ ریچارد فاینمن[1] برنده جایزه نوبل ۱۹٦۵ فیزیک، کنفرانسی تحت عنوان "فضای زیادی در آن پایین وجود دارد" در جلسه سالانه جامعه فیزیک آمریکا ارائه داد. او وارد مبحثی شد که کمتر کسی به آن فکر کرده بود و شجاعت صحبت داشت. چون اطلاعات بسیار ناچیزی از این مقیاس وجود داشت. فاینمن ایده‌ای را برای دستکاری و کنترل اشیای بسیار ریز از طریق جابجایی و چیدن اتم به اتم ماده ارائه داد. فاینمن حضار را با ایده‌ای بسیار ساده و تکان دهنده شگفت زده کرد.

برای قدم گذاشتن در عرصه فناوری نانو باید درک صحیحی از ابعاد نانو و اهمیت آن داشت. اغلب گفته می‌شود فناوری نانو، فناوری اشیاء کوچک است. اشیاء خیلی کوچک و در واقع استفاده و تولید ماده در مقیاس ریز مولکولی است که در این ابعاد اتم‌ها و مولکول‌ها به شکلی متفاوت از ابعاد بزرگتر عمل کرده و گستره‌ای از کاربردهای جالب و شگفت‌انگیز را فراهم می‌کنند. می‌توان اصطلاح "فناوری مولکولی" را برای فناوری نانو استفاده کرد. چرا که ابعاد نانو، ابعاد کارای مولکول‌ها است. واژه فناوری نانو اولین بار توسط نوریوتاینگوچی[2] استاد دانشگاه علوم توکیو در سال ۱۹۷٤ بر زبان‌ها جاری شد. او این واژه را برای توصیف ساخت مواد (وسایل) دقیقی که تغییرات ابعادی آنها در حد نانومتر می‌باشد، به کار برد. در سال ۱۹۸٦ این واژه توسط اریک درکسلر[3] در کتابی تحت عنوان: «موتور آفرینش: آغاز دوران نانو فناوری» بازآفرینی و تعریف مجدد شد. وی این واژه را به شکل عمیق‌تری در رساله دکترای خود مورد بررسی قرار داده و بعدها آن را در کتابی تحت عنوان «نانوسیستم‌ها، ماشین‌های مولکولی، چگونگی ساخت و محاسبات آن‌ها» توسعه داد (حبیب‌اللهی؛ ۱۳۸۸).

1-Richard Fyenman
2-Norio Taniguchi
3-Eric Drexler

۱-۱-۲ مفاهیم بنیادین

پیشوند نانو[1] کلمه‌ای یونانی به معنی کوچک (کوتوله) است و برای تعیین مقدار یک میلیاردیم یک کمیت استفاده می‌شود.

- ✓ یک گلبول قرمز دارای عرض تقریبی هفت هزار نانومتر است.
- ✓ یک مولکول آب دارای قطری حدود ۱ نانومتر است.
- ✓ اندازه پروتئین‌ها بین ۱ تا ۲۰ نانومتر است.

یک نانومتر یک هزارم میکرون است و یا ۱/۸۰۰۰۰ قطر موی انسان می‌باشد، اما این تعریف مقیاس نانو نمی‌تواند مقایسه درستی باشد. چرا که ضخامت موی انسان با توجه به خصوصیات فردی هر انسان از چند ده میکرومتر تا چند صدمیکرومتر متغیر است.

بنابراین نیاز به یک استاندارد برای بیان مفهوم مقیاس نانو وجود دارد. با ایجاد ارتباط میان اندازه اتم ها و مقیاس نانو می‌توان یک نانومتر را راحت‌تر تصور کرد. یک نانومتر برابر قطر ۱۰ اتم هیدروژن و یا ۵ اتم سیلسیم است (حبیب‌اللهی؛ ۱۳۸۸).

۱-۱-۳ تعریف فناوری نانو

نانو فناوری عبارتست از توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید در اندازه‌های مولکولی و اتمی و در دست گرفتن کنترل این ساخته‌ها و استفاده از ویژگی‌هایی که در این ابعاد (ابعاد کمتر از یک میکرومتر، معمولاً حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) ظاهر می‌شود (۱ نانومتر یک میلیاردیم متر است).

۱-۱-٤ تعریف استاندارد فناوری نانو

- ✓ به طراحی، تعیین ویژگی‌ها، تولید و کاربرد مواد، ابزار آلات و سیستم‌ها با کنترل شکل و اندازه در مقیاس نانو می‌گویند.
- ✓ به دستکاری کنترل شده، جاگیری دقیق، اندازه‌گیری، مدل‌سازی و تولید مواد در مقیاس نانو با هدف تولید مواد، ابزار و سیستم‌هایی با ویژگی‌های بنیادی و عملکردهای جدید می‌باشد (حبیب‌اللهی؛ ۱۳۸۸).

1-Nano

۱-۱-۵ شاخه‌های اصلی در نانو فناوری

می‌توان موارد زیر را شاخه‌های بنیادین دانش نانوفناوری دانست:

- ✓ نانو روکش‌ها
- ✓ نانو مواد
- ✓ نانو پودرها
- ✓ نانو لوله‌ها (نانو تیوب‌ها)
- ✓ نانو کامپوزیت‌ها
- ✓ مهندسی مولکولی
- ✓ موتورهای مولکولی(نانو ماشین‌ها)
- ✓ نانو الکترونیک
- ✓ نانو سیم‌ها
- ✓ نانو حسگرها
- ✓ نانو ترانزیستورها

۱-۱-٦ حوزه کاربرد در صنعت

هر فناوری باید با به کارگیری علم در تولید، مفید و مقرون به صرفه کالاها و خدمات رشد کند و امروزه فناوری نانو است که دنباله‌رو این هدف است. به‌واسطه ارتباط فناوری نانو با آجربنای مولکولی مواد، این حوزه از فناوری با بسیاری از چیزهایی که به صورت روزمره از کنار آنها می‌گذریم ارتباط دارد. زیرا مولکول‌ها اساس همه مواد را شکل می‌دهند. دانشمندان برای فناوری نانو کاربردهای خاصی را متصورند که جایگاه و اهمیت آن را در منافع اقتصادی ممتاز می‌کند و دانشمندان را به تحقیق در مورد کاربردهای مختلفی مثل محیط زیست، نفت و پتروشیمی، الکترونیک، خودرو، پوشاک، بهداشت و... هدایت می‌کند. بر اساس خواصی که به آن اشاره شد، هر یک از ساختارهای نانومتری استعداد کاربرد ویژه‌ای را دارند که در هر زمینه قابل بررسی است. اما از دید کاربردی بیشترین سندهای ثبت اختراع مربوط به حوزه‌های زیر بوده‌اند (حبیب‌اللهی؛ ۱۳۸۸).

- ✓ فناوری نانو و الکترونیک
- ✓ فناوری نانو در صنایع غذایی
- ✓ فناوری نانو و شیمی
- ✓ فناوری نانو و پزشکی
- ✓ فناوری نانو و حمل و نقل
- ✓ فناوری نانو و نساجی
- ✓ فناوری نانو در صنعت چوب
- ✓ فناوری نانو در صنعت کاغذ

۱-۱-۷ کاربرد فناوری نانو در صنعت کاغذ

صنعت کاغذسازی تاریخچه‌ای طولانی دارد که حدودا به ۲۰۰۰ سال پیش باز می گردد و نحوه انجام آن به مرور زمان تکامل یافته است. مصرف مقادیر زیادی از درختان و امکان تولید هر روزه هزاران تن کاغذ در یک کارخانه مدرن کاغذ سازی منظره شگفت‌انگیزی دارد و در اولین نگاه، حتی به نظر می‌رسد که فناوری بسیار نوین و کوچک نانو با فناوری توسعه یافته و عظیم صنایع کاغذ در تضاد باشد. می‌توان گفت این صنعت به شدت تحت تاثیر آزمایش‌های فناوری نانو که در قرن اخیر انجام شده، قرار گرفته است. در شرایط موجود فشار زیادی بر صنعت کاغذ برای افزایش نرخ تولید وجود دارد و بنگاه‌های تجاری هر گونه پیشرفت فناوری را که کارآیی و کیفیت را در عین کاهش قیمت‌ها افزایش دهند، خواهند پذیرفت. در چنین شرایطی، فناوری نانو پتانسیل‌های عظیمی برای بهبود محصولات موجود و ایجاد زمینه‌های جدید در صنعت کاغذسازی با تلفیقی از مواد شیمیایی جدید و تجهیزات پوشش‌دهی به‌کار گرفته است.

پیشرفت در بهره‌وری، عملکرد محصولات، کنترل کیفیت و یکنواختی با به‌گیری (وَدوود[1]؛ ۲۰۰۶):

۱) سیستم‌هایی با قابلیت زهکش و ماندگاری در حد نانو.

۲) سیستم‌های نانوصاف‌سازی برای خارج کردن مواد آلوده‌ساز مختلف در پساب کاغذسازی.

1- Wadood

۳) پوشش‌های رول با قابلیت در مقیاس نانو به‌منظور کاربردهای اتوزنی با تنش‌های‌زیاد نظیر: سوپر اتوزنی.
٤) سیستم‌های نانوپوشش‌دهی برای ایجاد قابلیت جدید در کاغذ و توانایی فرآیند پوشش‌دهی خشک.
٥) نانو اکسیدفلز به‌منظور بهبود استحکام بویلرها و تحمل زیاد آن‌ها در برابر فشار و حرارت.
٦) حسگرهای نانومقیاس به‌منظور یکنواخت‌سازی رطوبت و دمای کاغذ طی فرایند تولید.
۷) کائولین لایه لایه (ورقه ورقه‌شده) با ضخامتی در حد نانو به منظور پوشش‌دهی و فیلم‌های ممانعتی.
۸) الیاف سلولز جداشده و دستجات الیاف نظیر: سلولز میکروفیبریله شده[1]، میکروکریستال سلولز[2] و نانوویسکر سلولز[3].
۹) نانوذرات معدنی و نانوذرات آلی.

در دهه‌ی اخیر سه نوع ساختار نانومواد بررسی شد (چاهِن[4] و چِکرابارتی[5]؛ ۲۰۱۲)

۱) تهیه سلولز میکروفیبریله شده به‌وسیله فرآیند مکانیکی.
۲) تولید نانوویسکر سلولز به‌وسیله هیدرولیز اسیدی الیاف سلولز.
۳) نانوکامپوزیتی حاصل از ترکیب نوع اول و دوم مواد نانوسلولز در امتداد با سایر نانومواد.

اساس علم فناوری نانو پیچیده است. در واقع این علم، فرآیندهای پیشرفته‌ای را به‌وسیله فناوری نانو ایجاد می‌کند. چنین فرآیندهایی چون: به‌کارگیری نانوذرات بدون نیاز به عامل اتصال‌دهنده به الیاف با هدف بهبود کیفیت در روشنی، چاپ‌پذیری، تثبیت مرکب و... می‌باشد. به‌این منظور با تقویت بخش جنگل و مواد لیگنوسلولزی برای قرن ۲۱، باید با مشارکت گروهی به‌سوی فرآیندهای رشد پویا با هدف مهندسی کردن مواد خام اولیه، الیاف لیگنوسلولزی و ویژگی منحصر به‌فرد سودمند آن‌ها، ویژگی محصولات را ارتقاء بخشید (وَدوود؛ ۲۰۰٦).

1-MicroFirilated Cellulose
2-MicroCrystalline Cellulose
3-Cellulose NanoWhisker
4-Chauhan
5-Chakrabarti