دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دانشکده منابع طبیعی

موضوع:

تهیه نانوسلولز از ضایعات لیگنوسلولزی برنج

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی منابع طبیعی گرایش خمیر کاغذ

استاد راهنما:

دکتر نورالدین نظرنژاد

استاد مشاور:

دکتر قاسم اسدپور

نگارش:

شقایق رضانژاد

بهمن۱۳۹۱

چکیده

در این پژوهش با استفاده از ضایعات لیگنوسلولزی برنج (کاه و پوست برنج)، نانوسلولز تولید شد. پس از تهیه مواد اولیه، شستشو و هواخشک کردن با دو روش توالی مواد شیمیایی و پخت سودا-آنتراکینون به همراه رنگبری، خالص سازی سلولز و تهیه آلفاسلولز انجام شد. سپس سلولز خالص سازی شده در دو روش متفاوت به مدت ۱۵ دقیقه تحت تیمار مکانیکی (صوتی) با التراسونیک قرار گرفتند. نانوسلولزهای تولیدی به وسیله میکروسکوپ نیروی اتمی، میکروسکوپ الکترونی روبشی، پراش اشعه ایکس، آنالیز حرارتی گرما وزن سنجی و طیف زیر قرمز تبدیل فوریه مورد بررسی قرار گرفتند. قطر نانوسلولزهای تولیدی به روش خالص سازی شیمیایی برای پوست و کاه برنج به ترتیب ۴۰-۳۰ و ۲۹-۲۶ نانومتر و اندازه نانوسلولزهای تولیدی در روش سودا-آنتراکینون به همراه رنگبری برای پوست و کاه برنج به ترتیب ۲۰-۱۰ و ۱۴-۱۱ نانومتر بود. درجه کریستالیته نمونه ها در روش اول برای پوست و کاه برنج به ترتیب ۶۰ و ۶۱ درصد و در روش دوم ۶۶ و ۵۸ درصد بود. دمای اولیه تخریب نانوسلولزهای حاصل از پوست و کاه برنج در روش اول به ترتیب حدود ۱۶۵ و ۲۴۰ درجه سانتیگراد بوده است. همچنین دمای اولیه تخریب نانوسلولزهای پوست و کاه برنج در روش دوم به ترتیب ۱۸۸ و ۱۷۰ درجه سانتیگراد بوده است. رفتار حرارتی نمونه های سلولز خالص سازی شده در هر دو مورد نیز تا حد بالایی به نتایج حاصل از نانوسلولزها شباهت داشتند، که این نشان دهنده ی این مطلب است که تیمار با التراسونیک تاثیر کمی در تخریب حرارتی نانوسلولزها داشته است.

واژه های کلیدی: نانوسلولز، سلولز، پوست برنج، کاه برنج، شیمیایی ، سودا- آنتراکینون، التراسونیک (تیمار صوتی)

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول	
۱- کلیات	۱
۱-۱- فناوری نانو	۱
۱-۲- نانو مواد	۱
۱-۳- کاربرد های فناوری نانو در کشاورزی ومنابع طبیعی	۲
۱-۴- کاربرد مواد لیگنوسلولزی در فناوری نانو	۲
۱-۵- سلولز	۳
۱-۵-۱- ساختار سلولز	۴
۱-۶- نانو ذرات سلولز و ویژگی های آنها	۴
۱-۶-۱- نانو کریستال سلولز	۵
۱-۶-۲- نانو فیبر سلولز	۵
۱-۶-۳- مزایای نانوسلولز	۶
۱-۶-۴- کاربردهای نانوسلولز	۶
۱-۶-۵- منابع تولید نانوسلولز	۷
۱-۷- پسماندهای کشاورزی	۷
۱-۷-۱- میزان تولید ضایعات برنج	۸
۱-۷-۲- ترکیب مواد شیمیایی در کاه و پوست برنج	۸
۱-۷-۳- سیلیس در ضایعات برنج	۹
۱-۸- التراسونیک	۹
۱-۹- میکروسکوپ نیروی اتمی	۱۰
۱-۱۰- میکروسکوپ الکترونی روبشی	۱۰
۱-۱۱- پراش اشعه ایکس	۱۱
۱-۱۲- آنالیز گرماوزن سنجی	۱۲
۱-۱۳- طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه	۱۲
۱-۱۴- فرضیه ها و اهداف	۱۳
۱-۱۴-۱- فرضیه ها	۱۳
۱-۱۴-۲-اهداف	۱۳
فصل دوم	
۲- بررسی پیشینه تحقیق	۱۴
۲-۱- بررسی پژوهش های انجام شده در خارج از کشور	۱۴
۲-۲- بررسی پژوهش های انجام شده در داخل کشور	۲۱
فصل سوم	
۳- مواد و روش ها	۲۳
۳-۱- نمونه برداری	۲۳
۳-۲- مواد مورد استفاده	۲۳

۳-۳- آماده سازی مواد اولیه ۲۳
۳-۴- اندازه گیری ابعاد الیاف ۲۳
۳-۵- تعیین درصد مواد شیمیایی تشکیل دهنده ساختار مواد اولیه ۲۴
۳-۶- تعیین مقدار رطوبت مواد اولیه ۲۴
۳-۷- استخراج سلولز خالص ۲۴
۳-۷-۱- روش اول ۲۵
۳-۷-۲- روش دوم ۲۵
۳-۷-۲-۱- آماده سازی خمیر کاغذ ۲۵
۳-۷-۲-۲- تعیین عدد کاپای خمیر کاغذ ۲۶
۳-۷-۲-۳- رنگبری خمیر سودا-آنتراکینون ۲۸
۳-۸- آماده سازی نمونه های سلولزی جهت تیمار التراسونیک ۲۹
۳-۹- تولید نانوسلولز به روش مکانیکی ۲۹
۳-۱۰- خشک کردن نمونه ها به وسیله فریز درایر (خشک کن انجمادی) ۳۰
۳-۱۱-بررسی نمونه های تیمار شده با میکروسکوپ نیروی اتمی ۳۰
۳-۱۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی ۳۱
۳-۱۳- پراش اشعه ایکس ۳۱
۳-۱۴- آنالیز حرارتی گرماسنجی وزنی ۳۱
۳-۱۵- طیف زیر قرمز تبدیل فوریه ۳۲

فصل چهارم

۴- نتایج ۳۳
۴-۱- نتایج اندازه گیری طول الیاف پوست و کاه برنج ۳۳
۴-۲- در صد مواد شیمیایی تشکیل دهنده ساختار مواد اولیه ۳۴
۴-۳- نتایج اندازه گیری ویژگیهای خمیر کاغذ ۳۴
۴-۳-۱- بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ ۳۴
۴-۴- بررسی نانوسلولزهای تولیدی با روش شیمیایی- مکانیکی به وسیله میکروسکوپ نیروی اتمی ۳۵
۴-۵- بررسی نانوسلولزهای تولیدی با روش پخت سودا- آنتراکینون به وسیله میکروسکوپ نیروی اتمی ۳۷
۴-۶- بررسی نانوسلولزهای تولیدی با روش شیمیایی - مکانیکی به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی ۴۰
۴-۷- بررسی نانوسلولزهای تولیدی با روش پخت سودا-آنتراکینون به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی ۴۱
۴-۸- بررسی سلولز و نانوسلولزهای تولیدی به روش شیمیایی-مکانیکی با پراش اشعه ایکس ۴۲
۴-۹- بررسی سلولز و نانوسلولزهای تولیدی به روش پخت سودا-آنتراکینون با پراش اشعه ایکس ۴۴
۴-۱۰- بررسی سلولز و نانوسلولزهای تولیدی با آنالیز حرارتی گرماسنجی وزنی(TGA) ۴۶
۴-۱۱- طیف زیر قرمز تبدیل فوریه ۴۸

فصل پنجم

۵- بحث و نتیجه گیری ۵۰
۵-۱- اندازه گیری طول الیاف پوست و کاه برنج ۵۰
۵-۲- بررسی میکروسکوپی ۵۰
۵-۲-۱- بررسی نانوسلولزهای تولیدی با روش شیمیایی- مکانیکی به وسیله میکروسکوپ نیروی اتمی ۵۰
۵-۲-۲- بررسی نانوسلولزهای تولیدی با روش پخت سودا- آنتراکینون به وسیله میکروسکوپ نیروی اتمی ۵۱
۵-۲-۳- بررسی نانوسلولزهای تولیدی به وسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی ۵۲
۵-۳- بررسی سلولز و نانوسلولزهای تولیدی به روش شیمیایی-مکانیکی با پراش اشعه ایکس ۵۳
۵-۴- بررسی سلولز و نانوسلولزهای تولیدی به روش پخت سودا-آنتراکینون با پراش اشعه ایکس ۵۳
۵-۵- بررسی سلولز و نانوسلولزهای تولیدی با آنالیز حرارتی گرماسنجی وزنی(TGA) ۵۵

۵-۶- طیف زیر قرمز تبدیل فوریه ۵۶
۵-۷- نتیجه گیری ۵۷
۵-۸- پیشنهادات ۵۷
فصل ششم
منابع ۵۹

فهرست جدول ها **صفحه**

جدول ۳-۱:عوامل ثابت در پخت سودا-آنتراکینون ۲۵

جدول ۳-۲: عوامل متغییر در پخت سودا-آنتراکینون ۲۶

جدول۳-۳: فاکتور F برای تصحیح در صدهای مختلف پرمنگنات مصرف شده ۲۸

جدول ۳-۴: عوامل ثابت در رنگبری خمیر سودا-آنتراکینون ۲۸

جدول ۳-۵: عوامل متغییر در رنگبری خمیر سودا-آنتراکینون ۲۹

جدول ۴-۱: مقادیر میانگین طول الیاف کاه و پوست برنج ۳۳

جدول ۴-۲ : درصد مواد شیمیایی تشکیل دهنده ساختار مواداولیه ۳۴

جدول ۴-۳: بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ حاصل از فرآیند سودا-آنتراکینون ۳۵

جدول ۴-۴: درجه کریستالیته سلولز و نانوسلولز های بدست آمده از کاه و پوسته برنج به روش شیمیایی – مکانیکی ۴۴

جدول ۴-۵: درجه کریستالیته سلولز و نانوسلولز های بدست آمده از کاه و پوسته برنج به روش پخت سودا-آنتراکینون ۴۶

جدول ۴-۶: درصد افت جرم و دمای متناظر با آن در نمونه های سلولز و نانوسلولز تولید شده و خاکستر باقیمانده از پوست وکاه برنج ۴۸

جدول ۵-۱: میانگین طول الیاف منابع مختلف ۵۰

فهرست شکل ها **صفحه**

شکل۱-۱-: ساختار زنجیره سلولزی،قسمتهای آمورف و کریستالی،نانوکریستال های سلولزی ۴
شکل ۲-۱: نمونه هایی از کاربردهای نانوسلولز ۶
شکل ۳-۱: منابع تولید نانوسلولز ۷
شکل۱-۳: دستگاه التراسونیک پراب به همراه محفظه عایق صدا ۳۰
شکل ۲-۳: دستگاه میکروسکوپ نیروی اتمی ۳۰
شکل ۳-۳: دستگاه آنالیز گرما وزن سنجی ۳۲
۳۳
شکل۴-۱:پراکنش طول الیاف در پوست برنج ۳۴
۳۶
شکل ۴-۲:پراکنش طول الیاف در کاه برنج ۳۶
شکل ۴-۳: نانو سلولز تولیدی از پوست برنج به روش شیمیایی ۳۷
شکل ۴-۴: نمودار توزیع اندازه ذرات نانو سلولز تولیدی از پوست برنج ۳۷
شکل ۴-۵: نانو سلولز تولیدی از کاه برنج به روش شیمیایی ۳۸
شکل ۴-۶: نمودار توزیع اندازه ذرات نانو سلولز تولیدی از پوست برنج. ۳۹
شکل ۴-۷: نانو سلولز تولیدی از پوست برنج به روش تهیه سودا-آنتراکینون به همراه رنگبری. ۳۹
شکل ۴-۸: نمودار توزیع اندازه ذرات نانو سلولز تولیدی از پوست برنج. ۴۰
شکل ۴-۹: نانو سلولز تولیدی از کاه برنج به روش به همراه رنگبری ۴۱
شکل ۴-۱۰: نمودار توزیع اندازه ذرات نانو سلولز تولیدی از کاه برنج ۴۱
شکل ۴-۱۱: نانو سلولز تولیدی از پوست برنج به روش شیمیایی ۴۲
شکل ۴-۱۲: نانو سلولز تولیدی از کاه برنج به روش شیمیایی ۴۲
شکل ۴-۱۳: نانو سلولز تولیدی از پوست برنج به روش سودا-آنتراکینون به همراه رنگبری ۴۴
شکل ۴-۱۴: نانو سلولز تولیدی از کاه برنج به روش سودا-آنتراکینون به همراه رنگبری ۴۴
شکل ۴-۱۵: نمودار پراش اشعه ایکس از نمونه سلولز و نانوسلولز حاصل از پوست برنج ۴۵
شکل ۴-۱۶: نمودار پراش اشعه ایکس از نمونه سلولز و نانوسلولز حاصل از کاه برنج ۴۵
شکل ۴-۱۷: نمودار پراش اشعه ایکس از نمونه سلولز و نانوسلولز حاصل از پوست برنج ۴۷
شکل ۴-۱۸: نمودار پراش اشعه ایکس از نمونه سلولز و نانوسلولز حاصل از کاه برنج ۴۷
شکل ٤-۱۹: نمودار آنالیز گرماسنجی وزنی سلولز و نانوسلولز خالص‌سازی شده حاصل از پوست برنج ۴۹
شکل ۴-۲۰: نمودار آنالیز گرماسنجی وزنی سلولزو نانوسلولز خالص سازی شده حاصل از کاه برنج ۴۹
شکل ۴-۲۱: طیف زیر قرمز تبدیل فوریه از نانوسلولزهای حاصل از پوست برنج
شکل ۴-۲۲: طیف زیر قرمز تبدیل فوریه از نانوسلولزهای حاصل از کاه برنج

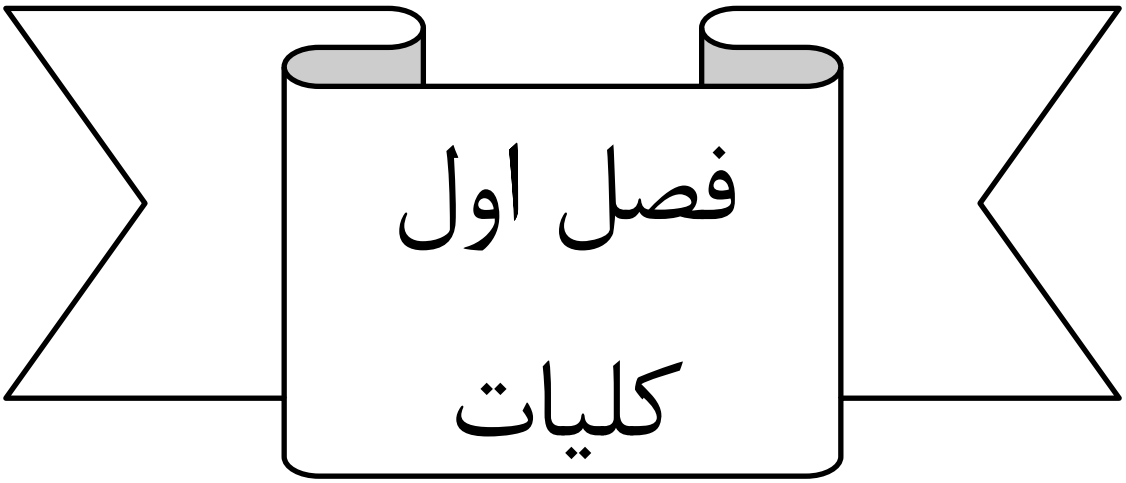
پیوست ها

شکل ۱: نمودار طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه از پوست برنج به روش شیمیایی- مکانیکی ۶۷

شکل ۲: نمودار طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه از کاه برنج به روش شیمیایی- مکانیکی ۶۸

شکل ۳: نمودار طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه از پوست برنج به روش پخت سودا- آنتراکینون و رنگبری ۶۹

شکل ۴: نمودار طیف سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه از کاه برنج به روش پخت سودا- آنتراکینون و رنگبری ۷۰


فصل اول
کلیات

۱ - کلیات

۱-۱- فناوری نانو[۱]

با توجه به نیاز جوامع و توسعه روزافزون علم، فناوری‌های نوین همچون فناوری نانو به طور چشمگیری رو به پیشرفت گذاشته است. فناوری نانو به معنی بکاربری مواد در مقیاس ۱۰۰ نانومتر[۲] یا کمتر است. فناوری نانو، فناوری است که از کنش ها و واکنش‌هایی که در سطح اتم اتفاق می‌افتد منشا گرفته و فناوری جدیدیست که تمام علوم را در خواهد نوردید. فناوری نانو به عنوان یک محرک مهم برای رشد اقتصاد جهانی و پیشرفت در این قرن است. با استفاده از فناوری نانو می‌توان ظرفیت های نهفته منابع را آشکار ساخت و مورد بهره‌برداری قرار داد. در واقع فناوری نانو یک سیستم مهندسی منظم در مقیاس مولکولی است. استفاده از فناوری نانو با توانایی کنترل و تولید نانو مواد با خواص بی‌نظیر، انقلابی در فناوری و صنایع به وجود آورده است. با استفاده از فناوری نانو می‌توان مواد را به اجزای کوچک تا حد یک میلیاردیم متر تقسیم کرد. با تولید ساختارهایی در مقیاس نانومتر امکان بهره‌مندی از ویژگی‌های خاص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی ذرات وجود دارد. بنابراین استفاده از این فناوری به محصولات و فناوری‌های جدید با کارایی بالا می‌انجامد (ارده،۱۳۸۵ ، رنجبر وشمس، ۱۳۸۸).

۱-۲- نانومواد[۳]

با گسترش روزافزون فناوری نانو، استفاده از نانو ذرات و ریز مواد نیز در فناوری‌های نوین افزایش یافته است. مواد نانو به موادی گفته می شود که حداقل یکی از ابعاد آن (طول،عرض،ضخامت) زیر ۱۰۰ نانومتر باشد. نانو مواد با ویژگی‌های نو و انعطاف پذیری بالا برای تغییر ساختار در حد مولکولی، توانایی تولید مواد با خواص ویژه‌ای را دارند، که امکان بهره‌مندی از ویژگی‌های نهفته‌ی ذرات را فراهم می آورد. نانو مواد می

[۱] Nanotechnology

[۲] Nanometer

[۳] Nanomaterial

توانند از مواد مختلف و به اشکال متفاوتی باشند که به طور کلی به چند دسته تقسیم می شوند: نانوذرات تولید شده از اتم کربن، نانو لوله ها، نانو ذراتی که اساس آنها اتم های فلزات می باشند(نانو ذرات طلا و نقره)، نانو ذرات چند شاخه ای، نانو ذرات ترکیبی (ارده،۱۳۸۵).

۱-۳- کاربرد های فناوری نانو در کشاورزی ومنابع طبیعی

فناوری نانو کاربرد گسترده ای در تمامی زمینه ها دارد از جمله کاربردهای آن در کشاورزی و صنایع وابسته، تولید نانو ذرات، انتقال سلولی، تولید آنزیم هایی با ویژگی های خاص نانو ،نانوکریستال ها، تبدیل مواد زائد کشاورزی به ذرات با مقیاس نانو برای استفاده در صنایع میکرو و با حساسیت بالا، نانوکامپوزیتها، فرآوری و بسته بندی مواد غذایی، تیمار مولکولی بیماریهای گیاهی، نانو حسگر های زیستی،... است (رنجبر وشمس، ۱۳۸۸).

۱-۴- کاربرد مواد لیگنوسلولزی[۴] در فناوری نانو

به طور عمومی، هر ماده ای قابلیت تبدیل به مواد نانو را دارد. اما برخی مواد به طور طبیعی دارای ساختار ریزی هستند که تبدیل آنها به نانو ذرات را آسان تر می سازد، سلولز از جمله مواد موجود در طبیعت است که این قابلیت را دارد. با توجه به گسترش فناوری نانو امکان استفاده از این مواد برای تولید نانو مواد توسعه یافته است. امروزه مطالعه به منظور تولید نانوسلولز از منابع تجدید شونده لیگنوسلولزی گسترش یافته است، زیرا این مواد دارای قیمتی پایین، در دسترس، تخریب پذیر به علاوه مصارف غذایی نیز ندارند و با توجه به واکنش پذیری بالا قابلیت استفاده بالا در مواد مرکب متفاوت به عنوان ماده افزودنی، دارند (رحیمی و همکاران ۱۳۸۸).

[۴] Lignocellulosic material

۱-۵- سلولز

سلولز یکی از فراوان ترین و غنی ترین الیاف طبیعی است که حدود ۷۵ گیگا تن در سال تولید می‌شود. سلولز که خاصیت مکانیکی طبیعی به الیاف می دهد، به طور منظم در میان میکروفیبریل ها و در پیوند با دو پلیمر همی سلولز و لیگنین قرار گرفته است. مطالعه ساختار سلولز آسان است، زیرا از واکنش‌های فتوسنتزی تولید می شود، که در دیواره‌ی سلولی تمامی گیاهان و برخی منابع غیرگیاهی و چند نوع جانور دریایی اتفاق می‌افتد(مثل تونیکادها). تهیه سلولز از الیاف طبیعی عملی است که از گذشته انجام می‌شده و در صنایع مختلفی مانند کاغذ و پوشاک مورد استفاده قرار می‌گرفته است. از جمله کاربردهای سلولز، استفاده از آن در تولید نیتروسلولز، نخ و پارچه، پلاستیک، رنگ، صنایع غذایی، پنبه استرلیزه شده و... است (هیوبی و همکاران ۲۰۰۸). سلولز به دلایل زیادی ماده ای مناسب برای تولید نانو مواد محسوب می‌شود، این دلایل به اختصار در ذیل آورده شده است.

۱- مصرف غذایی ندارد.

۲- به فراوانی در طبیعت تولید می‌شود.

۳- قیمت پایینی دارد.

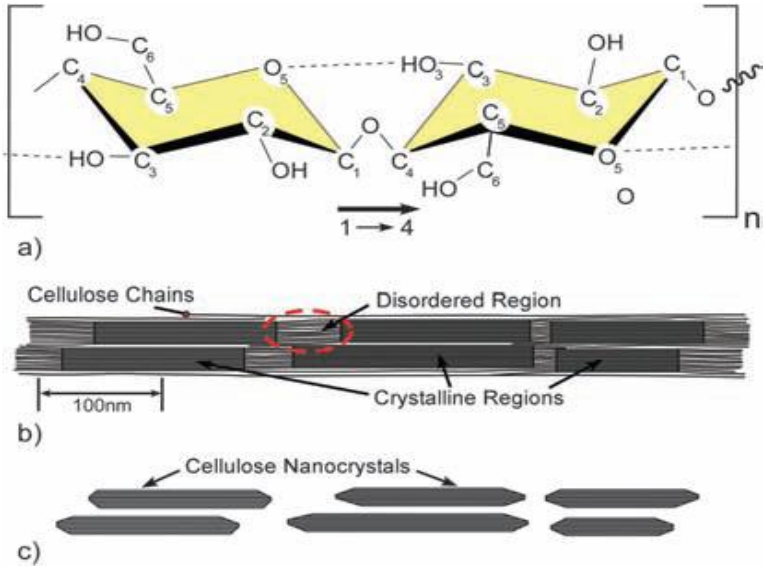
٤- مصرف انرژی سلولز در فرآیندهای تولید کم است.

٥- ماده‌ای زیست تخریب پذیر است.

٦- ماده‌ای تجدید شونده است (رحیمی و همکاران ۱۳۸۸).

۱-۵-۱- ساختار سلولز

سلولز پلیمر خطی از واحدهای گلوکوپیرانوزی[۵] است که در حدود یک سوم از بافت گیاهی را تشکیل می-دهد و به [٦] حالت کریستال و پلیمری متفاوت وجود دارد. در سلولز واحدهای گلوکز به گونه‌ای قرار گرفته‌اند که ساختاری خطی به زنجیره سلولزی می‌دهند که این ساختار سبب استحکام بیشتر در زنجیره می-شود(شکل ۱ قسمت a). زنجیره سلولز از قسمت های کریستالی و آمورف تشکیل می‌شود(شکل ۱ قسمت b). نانوسلولزهای تشکیل شده دارای قسمت های کریستالی زنجیره سلولز هستند(شکل ۱ قسمت c) (میرشکرایی ۱۳۸۶).



شکل۱-۱: ساختار زنجیره سلولزی،قسمتهای آمورف و کریستالی،نانوکریستال های سلولز (مون و همکاران ۲۰۱۱)

۱-٦- نانوذرات سلولز و ویژگی‌های آنها

نانومواد‌ی که از سلولز قابل استخراج است معمولا به صورت نانو کریستال سلولز[۶] و یا نانو فیبر[۷] هستند. تفاوت نانو فیبر و نانو کریستال ناشی از وجود مناطق بی‌نظم و کریستالی در آنها است. نانوکریستال سلولز

[۵] Golocupyranose

[٦] Nano crystalline cellulose

[۷] Nanofiber

ذراتی در حد ابعاد نانو هستند که نقاط بی‌نظم آنها در زنجیره سلولزی حذف شده و تنها دارای مناطق کریستالی هستند، در حالی که نانو فیبرها در ساختار خود علاوه بر نقاط کریستالی دارای مناطق بی‌نظم نیز هستند (رحیمی و همکاران ۱۳۸۸).

۱-٦-۱- نانو کریستال سلولز

این نانو ذرات با تیمارهای شیمیایی و هیدرولیز اسیدی تولید می‌شوند. این ذرات برای اولین بار در سال ۱۹٤۹ توسط رانبی تهیه شدند(رحیمی و همکاران ۱۳۸۸) .

۱-٦-۲- نانو فیبر سلولز

فرایند جداسازی نانوفیبرها شامل تیمار مکانیکی، شیمیایی-مکانیکی و آنزیمی می‌باشد. تیمار مکانیکی موجب جداسازی ذرات از دیواره سلولی می‌شود ولی این روش باعث تخریب سلولز و کاهش بازده می‌گردد. اما تیمار شیمیایی-مکانیکی باعث استخراج نانوفیبرها از دیواره اولیه و ثانویه بدون تخریب سلولز می‌شود. نانوفیبرها به دلیل داشتن ساختار کریستالی و پیوند هیدروژنی زنجیره ها خواص مکانیکی فوق العاده‌ای دارند که می‌توان از آنها به عنوان تقویت کننده در ترکیبات پلیمری بهره برد(رحیمی و همکاران ۱۳۸۸) .

۱-٦-۳- مزایای نانوسلولز[۸]

مهمترین مزایای نانوسلولزها شامل موارد زیر است (یگانه و همکاران ۱۳۸۹).

۱- قابلیت تجدید شوندگی

۲- زیست تخریب پذیری

۳- فراوانی و قیمت پایین ماده اولیه

[۸] Nanocellulose

٤- فعالیت شیمیایی سطحی بالا(به دلیل داشتن گروههای هیدروکسیل سطحی زیاد)

٥- مقاومت ویژه بالا

٦- ضریب لاغری بالا

٧- سطح ویژه بالا و وزن کم

١-٦-٤- کاربردهای نانوسلولز

علاوه بر کاربردهای فراوانی که برای نانوسلولزها در آینده ایجاد خواهد شد، کاربردهای فراوانی نیز تا به حال داشته‌اند که برخی از آنها به این شرح می باشند:

تولید کاغذ با کیفیت بالا، پوشش دهنده‌های فعال جدید، ساخت مواد با وزن کم و مقاومت بالا، مواد جدید الکترونیکی، نانو مواد افزودنی، مواد سلولزی متخلخل مثل مواد جاذب، عایق‌ها و فیلترها، کاربرد در صنایع پزشکی و داروسازی، امولسیون‌ها و پراکنده کننده‌ها، نانو کامپوزیت‌های بیولوژیکی، عوامل مقاومت خشک و مقاومت سطحی در کاغذ و مقوا، فوم‌های نانو ساختار، غشاهای نانو ساختار، پلاستیک‌های بیولوژیکی جدید، مواد افزودنی برای رنگدانه‌ها و جوهرها، مواد مرکب بیولوژیکی برای بازسازی استخوان و... (هیوبی و همکاران۲۰۰۸ و یولوویچ ۲۰۰۸).

شکل ۲-۱: نمونه‌هایی از کاربردهای نانوسلولز (هانس۲۰۱۰، اوکسمان ۲۰۰۹)

۱-۶-۵- منابع تولید نانوسلولز

نانوسلولز را می‌توان از منابع گیاهی و غیرگیاهی تولید کرد. منابع گیاهی مانند چوب، خمیر کاغذ، کاه انواع تولیدات زراعی، پوشال، کنف، پنبه، سیب زمینی، چغندر قند، سلولز بازیابی شده و ضایعات کشاورزی می باشند و منابع غیرگیاهی مانند قارچ ها، باکتری‌ها که به آن سلولز میکروبی نیز گفته می‌شود که به وسیله باکتری به نام استوباکتر تولید می‌شود و حیوانی از موجودات دریایی مثل تونیکادها می‌باشند(هیوبی و همکاران۲۰۰۸ و یولوویچ ۲۰۰۸).

شکل ۳-۱: منابع تولید نانوسلولز (هانس۲۰۱۰، اوکسمان ۲۰۰۹، اوستربرگ ۲۰۱۱)

۱-۷- پسماندهای کشاورزی

پسماندهای کشاورزی مواد اضافی حاصل از برداشت محصولات کشاورزی هستند که کاربردهای متفاوتی دارند. از جمله‌ی مهم‌ترین محصولات کشاورزی در کشور برنج است که به صورت متمرکز در شمال کشور کشت می‌شود و می‌توان از ضایعات لیگنوسلولزی آن مثل کاه و پوسته سخت برنج به عنوان منبعی مداوم، ارزان و با بازدهی بالا بهره برد.

۱-۷-۱- میزان تولید ضایعات برنج

میزان تولید برنج در کشور حدود سه میلیون تن شلتوک در سال است ، به ازای هر تن شلتوک حدود۲/۱-۱/۵ تن کاه و کلش در مزارع استحصال می‌شود، میزان استحصال کلش برنج در شمال کشور حدود ۱ میلیون تن می‌باشد که رقم قابل ملاحظه‌ای است (اوجی و طلاقت ۱۳۸۱، چابرا و همکاران ۱۳۸۵). در کشور سالانه از برداشت برنج حدود سه میلیون تن کاه برنج باقی می ماند (بلالایی و همکاران، ۱۳۸۲). پوست زبر خارجی دانه‌ی برنج نیز به عنوان یکی از ضایعات برنج است که حدود ۲۰٪ وزنی دانه شلتوک می باشد (بارادواج و همکاران ۲۰۰٤). بر اساس آمار سال ۱۳۸۲ سازمان آمار ایران میزان تولید شلتوک برنج در کشور ۱۸۱۹۹۹۰(یک میلیون و هشتصد و نوزده هزار و نهصد و نود) تن بوده است.

برای استفاده از دانه برنج به عنوان غذا، در کارخانه شالی‌کوبی ابتدا پوسته زبر آن را خارج می‌کنند و بعد طی مرحله سفید کنی برنج، سبوس خارج می‌شود. تا چندی پیش پوسته‌ی زبر برنج یا شلتوک سوزانده می-شد و آلودگی برای خاک و هوا ایجاد می‌کرد اما در سال‌های اخیر به صورت مخلوط با سبوس و به صورت کاملا آسیاب شده برای حجم دادن به غذای دام به میزان کمی در هر بار استفاده می‌شود. ورود پوست خارجی برنج به مخلوط سبوس، استفاده از آن را به عنوان ماده غذایی محدود می‌کند، چرا که شلتوک برنج زبر و دیر هضم بوده و به دلیل مقدار سیلیس بالا ارزش غذایی خیلی کمی دارد. بنابراین شلتوک برنج کاربرد خاصی برای مصرف دامی ندارد (حبیبی و همکاران ۱۳۸٦).

ضایعات باقیمانده از استحصال برنج منبعی ارزان و در دسترس برای تولید نانوسلولز است و ارزش افزوده‌ی آن بالاتر از ارزش ایجاد شده برای حجم دادن و مصرف به عنوان غذای دام است. بدلیل کاربردهای فراوان نانوسلولز و همچنین پتانسیل‌های کاربردی زیادی که در پیش رو دارد، استفاده از پوست خارجی برنج بعنوان خوراک دام توجیه علمی و اقتصادی ندارد.

۱-۷-۲- ترکیب مواد شیمیایی در کاه و پوست برنج

پوست سخت دانه‌ی برنج از لحاظ ترکیب مواد شیمیایی تشکیل دهنده شامل سلولز (۳۵-۲۵٪)، همی-سلولز (۲۱-۱۸٪)، لیگنین (۱۷-۱۵٪) و سیلیس(۱۷-۱۵٪) است(فهما[۹] و همکاران ۲۰۱۰، لی[۱۰] وهمکاران ۲۰۰۹). همچنین ترکیبات شیمیایی کاه برنج شامل سلولز (۴۸-۲۸٪)، لیگنین (۱۶-۱۲٪)، موم(۳/۷٪) ، سیلیس (۱۴-۹٪) است (فائزی پور و همکاران ۱۳۸۱، شاکری و همکاران ۱۳۸۴).

۱-۷-۳- سیلیس در ضایعات برنج

مهم ترین ترکیب در مواد معدنی ضایعات برنج سیلیس است که حدود ۸۰ تا ۹۷٪ ماده معدنی را شامل می‌شود و باقیمانده مواد معدنی شامل مقدار کمی نمک های معدنی است. در پوست و کاه برنج به ترتیب ۱۷-۱۵٪ و ۱۴-۹٪ سیلیس وجود دارد. در سلول های ضایعات برنج سیلیس در لایه داخلی سلول و در فضاهای بین سلول های اپیدرم قرار دارد (لیو[۱۱] ۲۰۰۴، سرنگی[۱۲] و همکاران ۲۰۱۱). این میزان سیلیس تحت تاثیر مواد شیمیایی قلیایی و اسیدی از فضاهای بین سلولی و لایه داخلی سلول های پوست خارج می-شود. سیلیس موجود در پوست برنج بالاترین میزان سیلیس در گیاهان تیره گندمیان است. سیلیس حاصل از این ضایعات کاربردهایی چون پرکننده های مواد مرکب، ایزوله های حرارتی، پلاستیک، الکترونیک و ... دارد (ژنگ[۱۳] و همکاران ۲۰۱۰).

۱-۸- التراسونیک[۱۴]

[۹] Fahma

[۱۰] Li

[۱۱] Liou

[۱۲] Sarangi et al.

[۱۳] Zhang et al.

[۱۴] Ultrasonic

امواج التراسونیک به دسته‌ایی از امواج مکانیکی گفته می‌شود که فرکانس نوسانشان بیش از محدوده شنوایی انسان (۲۰هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز) باشد. دستگاه التراسونیک کاربردهای متفاوتی دارد از جمله برای جداسازی برخی مولکول‌هایی که با نیروی کمی به یکدیگر متصل هستند. همچنین برای برهم زدن پر قدرت محلول جهت اخذ نتایج خاص و حتی بعضاً برای تولید نانو مواد می‌توان از این دستگاه استفاده کرد. دستگاه التراسونیک برای تولید نانو مواد، پخش کردن ذرات جامد در یک مایع (تولید سوسپانسیون های پایدار)، برای تسهیل واکنش‌های کاتالیزوری، تولید امولسیون‌های پایدار از دو مایع نامحلول در یکدیگر و بسیاری موارد دیگر کاربرد دارد. در واقع دستگاه پراپ اولتراسونیک، امواج مکانیکی مافوق صوت را توسط پراپ مخصوص به مایعی که پراپ در آن قرار دارد اعمال می‌کند، به بیان دیگر لرزش‌های پر قدرت ناشی از حرکت نوسانی با فرکانس‌های ما فوق صوت پیزو[۱۵] که در نوک پراپ واقع شده به مایع منتقل می‌شود (سایت ویکی پدیا).

۱-۹- میکروسکوپ نیروی اتمی[۱۶]

نیروهای بسیار کوچکی بصورت جاذبه و دافعه بین اتم‌های باردار وجود دارد، چنین نیروهایی بین نوک میکروسکوپ و اتم‌های سطح ایجاد می‌گردد. با اندازه‌گیری نیروی بین اتم‌ها در نقاط مختلف سطح، می‌توان محل اتم ها را روی آن مشخص کرد. میکروسکوپ نیروی اتمی از اجزاء و قطعات مختلفی تشکیل شده است که مهم‌ترین بخش آن مجموعه "انبرک و نوک "می باشد و در واقع قسمت اصلی برای شناخت سطوح به شمار می‌آید. جنس انبرک معمولا از سیلیسیم و نوک از یک تک اتم (معمولا اتم الماس) تشکیل شده است. برای اینکه میکروسکوپ نیروی اتمی بتواند برجستگی ها و فرورفتگی ها را در ابعاد نانومتر حس کند لازم است نوک تیز انبرک ظرافت اتمی داشته باشد (مرعشی، ۱۳۸۷).

۱-۱۰- میکروسکوپ الکترونی روبشی[۱۷]

[۱۵] pizo

[۱۶] Atomic Force Microscope

میکروسکوپ الکترونی روبشی نوعی از میکروسکوپ الکترونی است که در آن الکترون‌ها به سطح نمونه تابیده می‌شوند. سیگنال‌های حاصل از بازتاب این الکترون‌ها نیز آشکارسازی شده و تصاویر متنوعی را ایجاد می-کنند. نوع سیگنال‌های جمع شده در میکروسکوپ الکترونی روبشی متنوع است و می‌تواند شامل الکترون-های روبشی، اشعه ایکس و الکترون‌های باز پخش شده باشد. این سیگنال‌ها از تماس پرتو اولیه با نمونه و دیگر بر هم کنش‌ها در سطح نزدیک نمونه به دست می‌آیند. میکروسکوپ الکترونی روبشی قادر به ایجاد عکس‌هایی با بزرگنمایی و دقت بالا از سطح نمونه با استفاده از تصویر الکترون‌های ثانویه است (امیری ۱۳۸۷).

۱-۱۱- پراش اشعه ایکس[۱۸]

پراش پرتو X که توسط مجموعه اتم‌ها پدید می‌آید ناشی از تقویت پرتو پراکنده شده در جهت‌های ویژه فضایی است که پس از برخورد پرتو X به الکترون‌های ماده، آنها را به نوسان وادار می‌کند و این الکترون‌ها نیز با همان بسامد پرتو ابتدایی در فضای اطراف خود پرتو ایکس تابش خواهند داشت. اگر پرتوهای پراکنده با هم جمع شوند موج برآیند پدید می‌آید، پرتو پدید آمده توسط اتم‌های گوناگون نیز با یکدیگر و به دلیل اختلاف مسیر پیموده شده اختلاف فاز پیدا خواهند کرد و این اختلاف فاز باعث تغییر دامنه پرتو تابیده از مجموعه اتم خواهد شد. از آنجا که شدت یک پرتو متناسب با توان دوم دامنه آن است تغییرات موجود در فاصله‌های پیموده شده توسط پرتوها سبب تغییر دامنه آنها می‌شود. بنابراین در حالت‌های ویژه‌ای که دامنه پرتوها با هم جمع شوند پرتو تابیده از مجموعه اتم‌ها تقویت می‌شود و به آن پراش گویند. در دستگاه پراش پرتو X از یک لوله پدیدآورنده پرتو بر روی نمونه مجهول می‌تابد و شدت پرتو پراشیده در زاویه‌های گوناگون اندازه‌گیری می‌شود بدین ترتیب وظیفه دستگاه پراش، تعیین زاویه‌هایی است که پدیده پراش در آنها صورت می‌گیرد. همچنین شدت این پرتوها نیز اندازه‌گیری می‌شود. آزمایش پراش سنجی را در گستره

---

[۱۷] Scanning electron microscope

[۱۸] X-Ray