



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گیلان

دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

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

بررسی مقایسه‌ای خمیرسازی گرافت چوب تنه و شاخه صنوبر

پژوهش و نگارش:

محمدحسن قزل سوفلو

استاد راهنما:

دکتر احمدرضا سرانیان

اساتید مشاور:

دکتر محمدرضا دهقانی فیروزآبادی

دکتر الیاس افرا

تابستان 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 دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

- ۱- قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را قبلاً 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 محمدحسن قزل سوفلو 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

تقدیم به

چشمه‌های جوشان محبت

جلوه‌های مهر و عطف

پدر و مادر عزیزم

شکر و قدردانی

پاس خدای را که سخوران، در ستون او بناند و شماردگان، شردن نعمت های او نماند و کوشندگان، حق او را گردن تو مانند و سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودان و مدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز تسخیر... .

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اهل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شماری او، بازمان قاصد دست ناتوان، چیزی بکاریم... اما از آنجایی که تجلیل از معلم، پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تائین می کند و سلامت امانت بی را که بدستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من الخلقین لم یسکر الله عزوجل":

از پدر و مادر عزیزم... این دو معلم بزرگوارم... که بهواره برکت ناهای و درشتی من، قلم عنوشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاور بی چشم داشت برای من بوده اند؛

از استاد با کالات و شیاسته؛ جناب آقای دکتر احمد رضا سرانیمان که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیج گلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت را بهمانی این پیمان نامه را بر عهده گرفتند؛

از اساتید صبور و باتقوا؛ جناب آقایان دکتر محمد رضا دهقانی فیروز آبادی و دکتر الیاس افرا که زحمت مشاوره این پیمان نامه را متقبل شدند و بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوبی نمی رسید؛

و از استاد فرزاد و دلنواز؛ جناب آقای دکتر حسین رسالتی که زحمت داورسی این پیمان نامه را متقبل شدند؛ کمال شکر و قدردانی را دارم. باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید.

از همه مسئولین و کارکنان آرمایشگاه خوب و کاغذ و نگاهداری گران به ویژه سرکار خانم مهندس حسین خانی به خاطر همه راهبانی ها و زحماتشان سپاسگزارم. از همه دوستان خوبم به خاطر دوست بودنشان و خوب بودنشان قدر دانم و از خداوند متعال برایشان آرزوی توفیق و سر بلندی دارم.

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی مقایسه ای خواص فیزیکی و مکانیکی خمیرکاغذهای کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر انجام پذیرفت. برای این منظور تعداد سه پایه درخت سالم صنوبر هم‌سن به‌طور تصادفی از جنگل پژوهشی شصت‌کلاته گرگان قطع شد. از چوب تنه نزدیک شاخه و شاخه‌های هر یک از درختان قطع شده بطور جداگانه دیسک‌هایی به ضخامت ۲ سانتی‌متر برای اندازه‌گیری ابعاد الیاف و نیز دیسک‌هایی به ضخامت ۵ سانتی‌متر برای آنالیز ترکیبات شیمیایی آن بریده شد. مابقی چوب تنه و شاخه به‌طور مجزا برای تهیه خمیر کاغذ خرد شدند. برای مقایسه بازده خمیرکاغذهای کرافت در شرایط پخت ثابت شامل: سولفیدیت ۲۰٪، نسبت مایع پخت به چوب ۵ به ۱، دمای حداکثر ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و عوامل متغیر شامل قلیایی فعال ۱۴٪، ۱۷٪ و ۲۰٪ و زمان ۱ تا ۲ ساعت تهیه گردید. برای مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی، خرده چوب‌ها در قلیائیت فعال ۱۷٪ و زمان پخت ۹۰ دقیقه تا رسیدن به عدد کاپای حدود ۱۸ پخته شدند. خمیرکاغذها تا رسیدن به درجه روانی حدود ۳۵۰ (CSF) پالایش شدند. ساخت کاغذ و اندازه‌گیری آن‌ها بر اساس استاندارد تاپی انجام گرفت. برای مقایسه میانگین بازده، عدد کاپا و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خمیرکاغذها از آزمون دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد که خمیرکاغذ چوب تنه از بازده بیشتر و کاغذ آن از دانسیته و شاخص مقاومت به ترکیدن بیشتری برخوردار است. ولی شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ چوب تنه در مقایسه با کاغذ چوب شاخه کمتر است.

واژه‌های کلیدی: صنوبر دلتوئیدس، خمیرکاغذ کرافت، چوب تنه و شاخه، خواص فیزیکی و مکانیکی.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول / مقدمه و کلیات

۲	۱-مقدمه
۳	۱-۱- مروری بر فرآیندهای خمیر کاغذسازی
۳	۱-۱-۱- خمیر کاغذ شیمیایی
۳	۲-۱- خمیرسازی کرافت
۴	۱-۲-۱- هدف از خمیرسازی کرافت
۵	۲-۲-۱- واکنش های انجام شده در حین پخت
۶	۳-۱- گونه صنوبر
۷	۴-۱- مشخصات گیاه شناسی
۸	۱-۴-۱- ساختار چوب صنوبر
۸	۱-۴-۱-۱- مشخصات ماکروسکوپی
۸	۱-۴-۱-۲- مشخصات میکروسکوپی
۹	۵-۱- گونه های صنوبر
۱۰	۶-۱- کاربردهای صنوبر
۱۰	۷-۱- ضرورت بررسی و شناخت صنوبر
۱۱	۸-۱- وضعیت کنونی صنوبر در ایران
۱۱	۹-۱- تاریخچه کاشت صنوبر
۱۲	۱۰-۱- مطالعات پژوهشی صنوبر در ایران
۱۲	۱۱-۱- چوب شاخه
۱۳	۱۲-۱- تاریخچه استفاده از چوب شاخه در صنایع چوب و کاغذ
۱۴	۱۳-۱- پتانسیل زیست توده چوب شاخه ۱۴
۱۵	۱۴-۱- فرضیات تحقیق

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱-۱۵- اهداف تحقیق	۱۵
۱-۱۶- سوال‌های تحقیق	۱۶
فصل دوم / سابقه تحقیق	
۲- سابقه تحقیق	۱۸
فصل سوم / مواد و روش‌ها	
۳- مواد و روش‌ها	۲۴
۳-۱- نمونه‌برداری	۲۴
۳-۱-۱- مکان نمونه‌برداری	۲۴
۳-۱-۲- روش نمونه‌برداری	۲۴
۳-۲- اندازه‌گیری ابعاد لیاف	۲۵
۳-۳- تهیه آرد چوب	۲۶
۳-۳-۱- اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی	۲۶
۳-۳-۲- تعیین درصد مواد استخراجی	۲۶
۳-۳-۳- تعیین مقدار سلولز	۲۷
۳-۳-۴- تعیین مقدار لیگنین	۲۷
۳-۳-۵- تعیین مقدار خاکستر	۲۸
۳-۴- تهیه خمیر کاغذ	۲۸
۳-۴-۱- تهیه خرده‌چوب (چیپس)	۲۸
۳-۴-۲- تعیین رطوبت چیپس‌ها	۲۸
۳-۴-۳- آماده‌سازی لیکور (مایع پخت)	۲۹
۳-۵- شرایط پخت خمیر کاغذ	۲۹

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۶- تعیین بازده خمیر کاغذ.....	۳۰
۳-۷- اندازه گیری عددکاپا.....	۳۱
۳-۷-۱- تعریف عددکاپا.....	۳۱
۳-۸- تعیین درجه روانی خمیر کاغذ.....	۳۳
۳-۹- پالایش خمیر کاغذ.....	۳۳
۳-۱۰- تهیه کاغذ دست ساز.....	۳۴
۳-۱۱- تعیین وزن پایه (گراماژ) کاغذ.....	۳۶
۳-۱۲- آزمون های فیزیکی و مکانیکی کاغذ.....	۳۶
۳-۱۲-۱- آزمون های فیزیکی کاغذ.....	۳۷
۳-۱۲-۱-۱- اندازه گیری ضخامت کاغذ.....	۳۷
۳-۱۲-۱-۲- محاسبه حجمی و دانسیته کاغذ.....	۳۷
۳-۱۲-۱-۳- تعیین مقاومت به عبور هوای کاغذ.....	۳۸
۳-۱۲-۲- تعیین خواص مقاومتی کاغذ.....	۳۸
۳-۱۲-۲-۱- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ.....	۳۸
۳-۱۳- روش تجزیه و تحلیل آماری.....	۳۸
فصل چهارم / نتایج و بحث	
۴- نتایج و بحث.....	۴۰
۴-۱- ابعاد الیاف.....	۴۰
۴-۱-۱- ضرایب کاغذ سازی.....	۴۵
۴-۲- ترکیبات شیمیایی.....	۴۶
۴-۲-۱- مواد استخراجی.....	۴۷

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۴۹	۲-۲-۴ سلولز
۵۰	۳-۲-۴ لیگنین
۵۲	۴-۲-۴ خاکستر
۵۳	۳-۴ بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ چوب تنه صنوبر
۵۴	۱-۳-۴ بازده خمیر کاغذ
۵۵	۴-۴ درجه‌روانی خمیر کاغذ
۵۶	۵-۴ پالایش خمیر کاغذ
۵۶	۶-۴ ویژگی‌های فیزیکی کاغذ
۵۶	۱-۶-۴ ضخامت کاغذ
۵۸	۲-۶-۴ دانسیته کاغذ
۶۰	۳-۶-۴ حجم ویژه کاغذ
۶۲	۴-۶-۴ مقاومت به عبور هوای کاغذ
۶۴	۷-۴ ویژگی‌های مکانیکی کاغذ
۶۴	۱-۷-۴ شاخص مقاومت به پاره شدن
۶۵	۲-۷-۴ شاخص مقاومت به ترکیدن
۶۷	۸-۴ شرایط فرآیندی
۶۷	۱-۸-۴ pH نهایی خمیر کاغذ
فصل پنجم / نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات	
۷۰	۱-۵ نتیجه‌گیری
۷۲	۲-۵ پیشنهادات
۷۴	منابع

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

جدول ۳-۱- تعیین فاکتور F برای تصحیح درصدهای مختلف پرمنگنات مصرف‌شده.....	۳۳
جدول ۴-۱- بررسی میانگین ابعاد الیاف چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۴۰
جدول ۴-۲- آزمون تجزیه واریانس طول فیبر تنه و شاخه صنوبر.....	۴۱
جدول ۴-۳- آزمون تجزیه واریانس قطر کلی فیبر تنه و شاخه صنوبر.....	۴۲
جدول ۴-۴- آزمون تجزیه واریانس قطر حفره تنه و شاخه صنوبر.....	۴۳
جدول ۴-۵- آزمون تجزیه واریانس ضخامت دیواره سلولی الیاف تنه و شاخه صنوبر.....	۴۴
جدول ۴-۶- مقایسه ضرایب کاغذ سازی چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۴۵
جدول ۴-۷- بررسی مقادیر ترکیبات شیمیایی چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۴۷
جدول ۴-۸- آزمون تجزیه واریانس تغییرات درصد مواد استخراجی چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۴۸
جدول ۴-۹- آزمون تجزیه واریانس تغییرات درصد سلولز چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۴۹
جدول ۴-۱۰- آزمون تجزیه واریانس تغییرات درصد لیگنین چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۵۱
جدول ۴-۱۱- آزمون تجزیه واریانس تغییرات درصد خاکستر چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۵۲
جدول ۴-۱۲- میانگین بازده و عدد کاپای حاصل از چوب تنه صنوبر در شرایط متفاوت پخت کرافت.....	۵۳
جدول ۴-۱۳- میانگین بازده و عدد کاپای حاصل از چوب شاخه صنوبر در شرایط متفاوت پخت کرافت.....	۵۴
جدول ۴-۱۴- آزمون تجزیه واریانس بازده خمیر کاغذ تنه و شاخه صنوبر.....	۵۴
جدول ۴-۱۵- آزمون دانکن بازده خمیر کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۵۵
جدول ۴-۱۶- درجه روانی اولیه خمیر کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۵۵
جدول ۴-۱۷- تعداد دور پالایش خمیر کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۵۶
جدول ۴-۱۸- ضخامت کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۵۶
جدول ۴-۱۹- آزمون تجزیه واریانس ضخامت کاغذ تنه و شاخه صنوبر.....	۵۷
جدول ۴-۲۰- آزمون دانکن ضخامت کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۵۷
جدول ۴-۲۱- دانسیته کاغذ کرافت چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۵۸
جدول ۴-۲۲- آزمون تجزیه واریانس دانسیته کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۵۹

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

جدول ۴-۲۳- آزمون دانکن دانسیته کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۵۹
جدول ۴-۲۴- حجم ویژه کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۶۰
جدول ۴-۲۵- آزمون تجزیه واریانس حجم ویژه کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۶۰
جدول ۴-۲۶- آزمون دانکن حجم ویژه کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۶۱
جدول ۴-۲۷- مقاومت به عبور هوای کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۶۱
جدول ۴-۲۸- آزمون تجزیه واریانس مقاومت به عبور هوای کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۶۲
جدول ۴-۲۹- آزمون دانکن مقاومت به عبور هوای کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۶۳
جدول ۴-۳۰- شاخص مقاومت به پارگی کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۶۴
جدول ۴-۳۱- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به پارگی کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۶۴
جدول ۴-۳۲- آزمون دانکن شاخص مقاومت به پارگی کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۶۵
جدول ۴-۳۳- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۶۶
جدول ۴-۳۴- آزمون تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر.....	۶۶
جدول ۴-۳۵- آزمون دانکن شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس.....	۶۶
جدول ۴-۳۶- میانگین pH نهایی خمیر کاغذ چوب تنه صنوبر در شرایط متفاوت پخت کرافت.....	۶۷
جدول ۴-۳۷- میانگین pH نهایی خمیر کاغذ چوب شاخه صنوبر در شرایط متفاوت پخت کرافت.....	۶۸

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱- مراحل انتقال و واکنش مواد شیمیایی در خمیرسازی کرافت..... ۵
- شکل ۱-۳- حل نمونه برداری درخت صنوبر دلتوئیدس..... ۲۵
- شکل ۱-۴- مقایسه طول الیاف تنه و شاخه..... ۴۱
- شکل ۲-۴- مقایسه قطر کلی فیبر تنه و شاخه..... ۴۲
- شکل ۳-۴- مقایسه قطر حفره تنه و شاخه..... ۴۳
- شکل ۴-۴- مقایسه ضخامت دیواره سلولی تنه و شاخه..... ۴۴
- شکل ۵-۴- مقایسه درصد مواد استخراجی چوب تنه و شاخه..... ۴۸
- شکل ۶-۴- مقایسه درصد سلولز چوب تنه و شاخه..... ۵۰
- شکل ۷-۴- مقایسه درصد لیگنین چوب تنه و شاخه..... ۵۲
- شکل ۸-۴- مقایسه درصد خاکستر چوب تنه و شاخه..... ۵۳
- شکل ۹-۴- بازده کل خمیر کاغذ تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس..... ۵۵
- شکل ۱۰-۴- ضخامت کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه..... ۵۸
- شکل ۱۱-۴- دانسیته کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه..... ۶۰
- شکل ۱۲-۴- حجم ویژه کاغذ کرافت حاصل از چوب تنه و شاخه صنوبر..... ۶۱
- شکل ۱۳-۴- مقاومت به عبور هوای کاغذ کرافت چوب تنه و شاخه صنوبر..... ۶۳
- شکل ۱۴-۴- شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ چوب تنه و شاخه..... ۶۵
- شکل ۱۵-۴- شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ تنه و شاخه..... ۶۷
- شکل ۱۶-۴- تغییرات pH نهایی چوب تنه و شاخه صنوبر دلتوئیدس..... ۶۸

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱- مقدمه

امروزه در دنیا کمبود روز افزون منابع سلولزی یکی از چالش‌های عمده صنایع تهیه خمیر کاغذ و کاغذسازی محسوب می‌شود. یکی از روش‌های پاسخ‌گویی به این مشکل کاشت درختان تند رشد در نقاط مناسب می‌باشد و متخصصان امر از دیر باز بر این باورند که در سطح جهانی جنگلداری نوین باید به سمت تولید چوب از گونه‌های تند رشد با دوره‌های بهره‌برداری کوتاه جهت‌یابی نماید (بوسیا، ۱۹۶۳).

در کشورهایی که منابع جنگلی محدودی دارند برای پیدا کردن منابع لیگنو سلولزی همواره اقدامات مختلفی صورت گرفته و هم‌چنان در حال انجام است. از جمله این اقدامات استفاده از مواد لیگنو سلولزی غیرچوبی، بازیافت الیاف سلولزی و کاشت گونه‌های تندرشد مناسب و سازگار در این کشورها می‌باشد. از جمله منابع چوبی تندرشد می‌توان به صنوبرها اشاره کرد که به دلیل امکان کشت آن‌ها در بیشتر مناطق، تنه مستقیم، جداسازی راحت پوست و وجود بافت همگن و رنگ روشن، علاوه بر استفاده در صنایع لایه‌گیری، کبریت سازی و... می‌تواند چوب مناسبی برای تولید خمیر کاغذ باشد. در شمال ایران این درختان در زمان به نسبت کوتاهی (حدود ۱۰ سال) به ابعاد مناسب برای کاغذسازی می‌رسند و می‌توانند مورد بهره‌برداری قرار گیرند. میزان تولید چوب صنوبر در شرایط مطلوب سالانه حدود ۲۰ مترمکعب است که در مقایسه با رویش گونه‌های بومی جنگل‌های شمال ۶ تا ۱۵ برابر می‌باشد. به این ترتیب زراعت چوب با کشت صنوبر یک راه حل اساسی است که حتی در کوتاه مدت می‌تواند بحران ناشی از کمبود چوب را سامان بخشد (خاکزاد، ۲۰۰۵؛ ضیایی، ۱۹۹۲).

کشورهایی مانند کانادا، ترکیه، ایتالیا، آلمان و بسیاری از کشورهای دیگر پژوهش‌های وسیعی را در زمینه صنوبرها انجام داده‌اند. در یک بررسی منابع که از سال ۱۹۷۰ تا سال ۱۹۸۱ انجام شد، حدود ۵۰۰ مقاله بررسی‌هایی در زمینه استفاده از صنوبر در صنایع کاغذسازی ارائه شده است. در این پژوهش سعی بر آن است تا از چوب شاخه، به‌عنوان منبعی ارزان‌تر و فراوان از چوب تنه، در ساخت خمیر کاغذ کرافت با خصوصیات قابل مقایسه با خمیر کاغذ ساخته شده از چوب تنه به‌دست آید.

۱-۱-۱- مروری بر فرآیندهای خمیر کاغذسازی

روش یا فرآیند تبدیل منابع سلولزی به الیاف را فرآیند خمیر کاغذسازی می‌گویند. در حقیقت این فرآیندها روش‌های جدا کردن الیاف لیگنوسلولزی است که ماده اولیه را بوجود آورده‌اند. برای ساخت خمیر کاغذ به مواد لیگنوسلولزی نیاز است و جدا کردن این الیاف وظیفه فرآیندهای ساخت خمیر کاغذ است.

برای جدا کردن الیاف از یکدیگر از دو روش زیر استفاده می‌شود:

- ۱- روش اول استفاده از انرژی مکانیکی با یا بدون استفاده از مقدار کمی مواد شیمیایی است که در این روش الیاف یا رشته‌های سلولزی از همدیگر جدا می‌شوند.
 - ۲- روش دوم بکارگیری انرژی شیمیایی و حرارتی با یا بدون اعمال نیروی مکانیکی می‌باشد. در این روش با استفاده از مواد شیمیایی و حرارت ماده اتصال دهنده بین الیاف سلولزی (لیگنین) حل می‌شوند و رشته‌های سلولزی به نحوی سالم از یکدیگر جدا می‌شوند.
- از ترکیب روش اول و دوم هم برای جدا کردن الیاف استفاده می‌شود که به آن فرآیند ترکیبی می‌گویند و به خمیر حاصل از این فرآیند خمیر نیمه شیمیایی گفته می‌شود.

۱-۱-۱-۱- خمیر کاغذ شیمیایی

خمیرسازی شیمیایی فرایندی است که در آن، لیگنین تقریباً به‌طور کامل از چوب خارج می‌شود به طوری که پس از خروج از دایجستر، الیاف با اندکی تیمار مکانیکی از هم جدا شده آزاد می‌شوند. در عمل، همه خمیرهای شیمیایی جهان، هنوز با استفاده از دو فرایند سولفیت و سولفات (کرافت) تهیه می‌شود که البته برتری با فرایند سولفات است (مبانی و کاربردهای شیمی چوب).

۱-۲-۱- خمیرسازی کرافت

در خمیرسازی کرافت مواد شیمیایی فعال شامل هیدروکسید سدیم (NaOH) و سولفید سدیم (Na₂S) می‌باشد. ماده شیمیایی غیرفعال اصلی Na₂CO₃ (کربنات سدیم) می‌باشد. مصرف این مواد به‌صورت وزن این مواد به وزن چوب، همراه با نسبت مایع پخت به چوب (L/W)، غلظت مواد

شیمیایی و مواد شیمیایی باقی مانده متغیرهای اصلی مایع پخت را تشکیل می دهند. زمان و درجه حرارت متغیرهای اصلی عملیاتی می باشد.

واکنش های شیمیایی، بین قلیای فعال، قلیای موثر (مقدار واقعی OH سود سوز آور موجود) و ترکیبات چوب رخ می دهند. بیشتر مواد شیمیایی توسط کربوهیدرات ها مصرف می شود و مقاومت خمیر با توجه به حذف مقدار سلولز و همی سلولز تعیین می شود. از سولفید سدیم (Na_2S) موجود در مایع پخت، یون هیدرو سولفید (SH) تولید می شود که حذف لیگنین را تسریع می کند و باعث تولید خمیری مقاوم تر می گردد. کنترل میزان پخت از طریق عدد کاپا انجام می گیرد. عدد کاپا مقدار لیگنین باقیمانده در خرده چوب پخته شده را کنترل می کند. عملیات در دیگ پخت ناپیوسته شامل پر کردن دیگ پخت از مایع پخت و خرده چوب، آغشته کردن خرده چوب با مایع پخت، گرمادهی، پخت و دمش یا تخلیه دیگ پخت می باشد. هر کدام از این مراحل در جای خود (بسته به نقشی که ایفا می کنند) در دیگ پخت پیوسته، بر کیفیت و همگنی خمیر اثر دارد.

۱-۲-۱- هدف از خمیرسازی کرافت

هدف از خمیرسازی کرافت این است که الباف موجود در چوب را به طریق شیمیایی جدا کند و عمده لیگنین واقع در دیواره الیاف را حل کند. جداسازی الیاف با انحلال لیگنین موجود در لایه میانی، که الیاف را به همدیگر چسبانده انجام می گیرد. مواد شیمیایی مایع پخت نیز در دیواره های الیاف نفوذ کرده و لیگنین موجود در آن را حل می کنند.

انتقال مواد شیمیایی به خرده چوب و واکنش هایی که بین آنها صورت می گیرد بدین گونه می باشد:

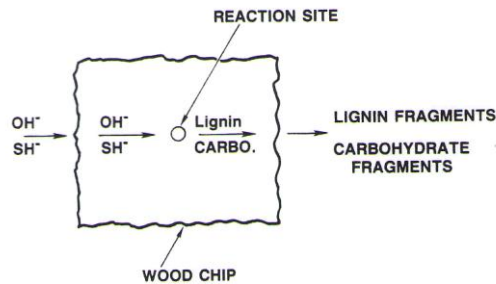
۱- انتقال یون ها از مایع پخت به سطح بیرونی خرده چوب

۲- انتشار یون ها به داخل خرده چوب ها (جذب یون بر سطح ترکیبات تشکیل دهنده چوب)

۳- واکنش شیمیایی بین یون ها و ترکیبات چوب

۴- انتشار (نفوذ) مواد حاصل از واکنش های شیمیایی به بیرون خرده چوب

۵- انتقال ترکیبات حاصل از واکنش مواد به مایع پخت بوسیله پخش و انتشار



شکل ۱-۱ مراحل انتقال و واکنش مواد شیمیایی در خمیرسازی کرافت

سرعت کلی واکنش (سرعت جداسازی لیگنین یا دیگر ترکیبات چوب) تحت تأثیر کندترین مرحله از این مراحل قرار دارد. در شرایط معمولی مراحل انتقالی ۱ و ۵ احتمالاً نقش مهمی را ایفا نمی‌کنند، اما مراحل انتشار ۲ و ۴ نقش قابل توجهی در واکنش‌های بین خرده چوب و مواد شیمیایی بازی می‌کنند، مگر اینکه ضخامت موثر خرده چوب‌ها کمتر از ۳ میلی‌متر باشد.

۱-۲-۲- واکنش‌های انجام شده در حین پخت

مواد شیمیایی معدنی موجود در مایع پخت طی فرآیند تولید خمیر کاغذ با ترکیبات آلی تشکیل دهنده چوب واکنش می‌دهند. در ابتدا بعضی از مواد تشکیل دهنده چوب از قبیل مواد استخراجی و پلی ساکاریدهای با وزن مولکولی کم در مایع پخت حل می‌شوند و سپس با مواد شیمیایی معدنی مایع پخت ترکیب می‌شوند. لیگنین در مراحل اولیه پخت (فاز اول) تا حد زیادی قابل حل بوده بدین معنا که در اثر واکنش با مایع پخت به اجزاء کوچکتر و قابل حل تجزیه می‌شود. سلولز در مقایسه با دیگر مواد شیمیایی تشکیل دهنده چوب در برابر مایع شیمیایی پخت به مقدار زیادی مقاوم است ولی با وجود این مقاومت زیاد درجه پلیمریزاسیون آن کاهش یافته و حدود ۲۰-۱۰ درصد آن در واکنش تخریب تدریجی^۱ از بین می‌رود. الیاف در فرآیند تولید خمیر کاغذ کم بازده از قسمت لایه بین سلولی (ML) از یکدیگر جدا می‌شوند. لیگنین در فرآیند تولید خمیر شیمیایی پر بازده (خمیرهای نیمه شیمیایی) در لایه بین سلولی به‌طور جزئی جدا شده و جداسازی الیاف (فیبریزاسیون) با عملیات

^۱ Peeling

مکانیکی انجام می‌شود. در این حالت جداسازی در لایه‌های S_1 و یا بین لایه‌های S_1 و S_2 اتفاق می‌افتد.

۱-۳- گونه صنوبر

صنوبرها از منابع مهم و مطمئن صنعتی بوده و نقش مهمی در مطالعات علمی بر روی سیستم‌های بیولوژیکی و کشاورزی ایفا می‌کنند. صنوبرها با تولید بیش از دو میلیون مترمکعب چوب در سال در ایران، نقش ارزنده‌ای در تأمین منابع سلولزی و کاهش فشار بر جنگل‌های طبیعی ایفا می‌کنند. مصرف روزافزون چوب در صنایع چوب و کاغذ، به کشت گونه‌های تندرشد صنوبر به‌ویژه گونه‌های اصلاح شده خارجی و داخلی آن اهمیت می‌دهد که در طی سالیان گذشته کلن‌ها و ارقام متعدد آن وارد ایران شده‌اند. در این بین صنوبر دلتوئیدس که از تندرشدترین صنوبرهای مورد استفاده به‌شمار می‌رود، با توجه به حجم تولید زیاد خود اهمیت بیشتری می‌یابد. به‌طوری‌که این گونه در تولید چوب شمال کشور ارزش فوق‌العاده‌ای دارد. صنوبرها به‌خصوص صنوبر دلتوئیدس با داشتن الیاف با ارزش از نظر کاغذسازی و با رشد زیاد، در این صنعت اهمیت می‌یابند. به‌طوری‌که قابلیت کاغذسازی آن در مقایسه با بسیاری از گونه‌های تندرشد بهتر می‌باشد. این عامل سبب می‌گردد تا صنوبر را برخلاف بسیاری از گونه‌های تندرشد بتوان بدون کاهش مقاومت‌های کاغذ ساخته شده به‌طور خالص در صنعت خمیرسازی مورد استفاده قرار داد (افرا، ا و همکاران، ۱۳۸۶) و با حفظ مقاومت‌های مذکور، بازده بیشتری را نسبت به بسیاری از مواد اولیه دیگر دارد و در فرایند پلی‌سولفید به ۶۰٪ نیز می‌رسد. ایران در منطقه‌ای قرار گرفته است که سهم اراضی جنگلی کشورهای آن ناچیز است و در کل بیشتر این کشورها از جمله کشورهای کم‌برخوردار از جنگل محسوب می‌شوند. مساحت جنگل‌های ایران در حدود ۱۴/۲ میلیون هکتار برآورده شده است. این در حالی است که در گذشته‌ای نه چندان دور مساحت این سطوح ۱۸ میلیون هکتار بوده است که در طی چند دهه اخیر به‌دلایل متعددی همچون بهره‌برداری بی‌رویه، توسعه شهرها و تأسیسات شهری، صنعتی و تخریب و تجاوز با کاهش جدی سطح مواجهه بوده است. این در حالی است که با توجه به ظرفیت کشورمان در کاشت گونه‌های تندرشد و سابقه ۴۰ ساله زراعت چوب در کشورمان، می‌توان با صنوبرکاری و بررسی فرآیندهای مطلوب خمیرسازی آن، تا حدودی پاسخ به نیاز کاغذ را با توجه به کمبود منابع چوبی در کشور تأمین نمود (اشرفی‌بیرگانی، ۱۳۸۹).

صنوبرها در مقایسه با سایر گونه‌های تندرشد دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند که می‌توان برخی از آنها را چنین ذکر کرد:

- در مقایسه با رشد صنوبرها، گونه‌های اکالیپتوس هم بسیار تندرشد هستند اما بردباری آنها به سرما کم می‌باشد.
- صنوبرها تطابق بیولوژیکی بسیار کم نظیری دارند و می‌توان آنها را در اغلب اقلیم‌ها کاشت.
- امکان دورگ‌گیری^۱ و ترکیب خواص ممتاز صنوبرها زیاد است و می‌توان به این وسیله اصلاحات زیادی بر روی چوب آنها ایجاد کرد.
- صنوبرها درختان اجتماعی هستند و کاشت آنها در کنار هم امکان‌پذیر است و از برخی از گونه‌ها و واریته‌های آنها می‌توان قلمستان‌های خالص و انبوه تهیه کرد.
- صنوبرها به عملیات جنگل‌کاری پاسخ مثبت می‌دهند.

۱-۴- مشخصات گیاه‌شناسی

تیره این درخت دارای ریشه‌های سطحی بوده ولی رشد آنها بسیار عالی است و در کمتر از ۱۵ سال به ارتفاع ۲۵ متر می‌رسد. خزان کننده، پهن برگ و تک پایه (دانه گرده و مادگی روی یک گیاه تشکیل و لقاح صورت می‌گیرد) است. گل‌ها منفرد، اکثراً کرکدار، و با گل آذین (طرز قرارگرفتن گل‌ها روی ساقه و یا شاخه) خوشه‌ای بوده و میوه‌ها کرکدار است. صنوبرها جزء درختان سریع‌الرشد می‌باشند. صنوبرها از نظر رده بندی گیاهی، متعلق به جنس صنوبر و خانواده بیدیان می‌باشند. چوب صنوبرها در صنایع کبریت‌سازی، نئوپان، فیبر، جعبه‌سازی و غیره استفاده می‌شود. این درختان سریع‌الرشد، ۱۰-۱۵ برابر درختان جنگلی چوب تولید می‌کنند و از نظر گونه متنوع هستند. چون صنوبرها در منطقه‌های آب و هوایی مختلف قابل کشت می‌باشند و از خود سازگاری نشان داده اند، فعالیت‌های پژوهشی بر روی این درختان قابل توجهی و دارای اهمیت می‌باشد. صنوبر از درختان سریع‌الرشدی است که در مقایسه با سایر درختان جنگلی از رشد سریعتر و در نتیجه از دوره بهره‌برداری کوتاه‌تری برخوردار است. این درختان به عنوان منبع تامین چوب در خارج از جنگل مورد توجه قرار دارد. صنوبر گونه‌ای پهن برگ و نور پسند و خزان کننده است. گل‌ها معمولاً قبل از برگ در اوایل بهار

^۱ Hybridation