





دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

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

تأثیر مقدار درصد پوست بر ویژگی‌های خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس

پژوهش و نگارش:

زینت فرهادی

استاد راهنما:

دکتر احمدرضا سرائیان

استاد مشاور:

دکتر محمدرضا دهقانی فیروزآبادی

زمستان ۱۳۹۱

تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)‌های 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 موارد ذیل متعهد می‌شوند:

قبل از چاپ پایان‌نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

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

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

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

تقدیم بہ

پدر و مادر مہربانم

حمد و سپاس از آن خداوندیست که انسان را به زیور دانش آراست تا با اندیشیدن و تأمل راه درست زیستن را بیاموزد.
وظیفه خود می‌دانم صمیمانه‌ترین مراتب قدردانی را تقدیم محضر یکایک عزیزانی نمایم که به نحوی در تکمیل این پایان نامه مرا
یاری نمودند.

از خانواده عزیزم

که سپاس کافی‌شان نیست و زحماتشان را جبرانی نیست، اما به رسم ادب از همه زحماتشان و برای آنچه، بسم تشکر می‌کنم.
از استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر احمد رضا سرائیان به خاطر تمامی راهنمایی‌ها، کمک‌های بی‌دریغ و صبوری -
پایشان سپاسگزارم.

از مشاور محترم این پایان نامه جناب آقای دکتر محمد رضا دهقانی فیروز آبادی به خاطر نگرش نیک و عمیق‌شان در جهت
کمال این تحقیق ممنون و سپاسگزارم.

از اساتید محترم جناب آقای دکتر حسین رسالتی و جناب دکتر علی قاسمیان نه تنها به خاطر این که داوری این پایان نامه را
قبول زحمت نمودند، بلکه به خاطر درسی که از ایشان آموختم سپاسگزارم.

از یارنده محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه سرکار خانم دکتر شعبان پور که زحمت بازخوانی پایان نامه و مدیریت جلسه را متقبل
شدند تشکر می‌کنم.

از همسر مهربانم آقای مهدی عباسیان که صبورانه و صادقانه مرا همراهی نموده است تا بتوانم در کمال آرامش و آسایش به تهیه و تنظیم پایان نامه پردازم، کمال تشکر را دارم.

بعینین از جناب آقای مهندس وزیری به پاس همه زحمات بیدریغشان در تمامی مراحل اجرایی این پایان نامه نهایت تشکر را دارم.

از همه مسئولین و کارکنان آزمایشگاه خوب و کاغذ دانشگاه کرگان به ویژه سرکار خانم مهندس حسین خانی به خاطر همه راهنمایی ها و زحماتشان سپاسگزارم.

از همه دوستان عزیزم به خاطر همه محظوظی های باهم بودنمان و همه خطائی که دستان سرد مرا به گرمی نشرفند قدر دانم و از دگاه الهی بهترین ها را برایشان خواهانم.

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر مقدار درصد پوست بر خواص فیزیکی و مکانیکی خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس انجام پذیرفت. برای این منظور تعداد سه پایه درخت سالم صنوبر از یک گروه سنی به‌طور تصادفی از جنگل پژوهشی شصت‌کلاته گرگان قطع شد. از ارتفاع برابر سینه هر درخت سه پایه تهیه گردید. دیسک‌ها کاملاً پوست‌کنی شده و وزن چوب و پوست مرطوب هر دیسک تعیین گردید. سپس نسبت وزنی چوب و پوست در هر دیسک تعیین شد. به منظور تهیه خمیر کاغذ کرافت شرایط پخت شامل: سولفیدیت ۰/۲۵٪، قلیایی فعال ۰/۲۰٪، درجه حرارت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، نسبت مایع پخت به چوب ۶ به ۱ و عامل متغیر در این تحقیق میزان درصد پوست خرده‌چوب شامل مقادیر ۰، ۶، ۱۲، ۱۸ و ۲۴٪ وزنی در نظر گرفته شد و از هر تیمار خمیری با عددکاپای حدود ۲۰ تهیه شد. همچنین برای تهیه کاغذ دست‌ساز، خمیرها تا رسیدن به درجه روانی حدود ۳۵۰ (CSF) پالایش شدند.

برای تعیین تأثیر پوست بر بازده و عددکاپای خمیر کاغذ و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای حاصله از آزمون فاکتوریل و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. بازده خمیر کاغذ از ۵۰/۳۲ تا ۵۲/۰۳ درصد و عددکاپای آن‌ها از ۲۰/۳۷ تا ۲۱/۱۷ متغیر بود. با افزایش میزان درصد پوست خرده‌چوب مقدار دانسیته کاغذها کاهش یافت و کمترین مقدار آن برای کاغذ حاوی ۲۴٪ پوست ($0/477 \text{ g/cm}^3$) به‌دست آمد. همچنین مقادیر ویژگی‌های مقاومتی با افزایش میزان درصد پوست خرده‌چوب تا ۱۸٪ افزایش داشت.

واژه‌های کلیدی: صنوبر دلتوئیدس، خمیر کاغذ کرافت، پوست خرده‌چوب، خواص فیزیکی و مکانیکی.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول / مقدمه و کلیات

۲-۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱-۲	تاریخچه پیدایش کاغذ	۲
۲-۱-۳	روش‌های تهیه خمیر کاغذ	۳
۲-۱-۴	خمیر کاغذ مکانیکی	۳
۲-۱-۵	خمیر کاغذ آسیابی	۳
۲-۱-۶	خمیر کاغذ مکانیکی پالایشی	۳
۲-۱-۷	خمیر کاغذ مکانیکی حرارتی	۴
۲-۱-۸	خمیر کاغذ شیمیایی	۴
۲-۱-۹	فرآیند قلبایی تولید خمیر کاغذ	۴
۲-۱-۱۰	جنبه‌های عمومی لیگنین‌زدایی فرایند کرافت	۵
۲-۱-۱۱	واکنش‌های لیگنین	۶
۲-۱-۱۲	واکنش‌های کربوهیدرات‌های چوب	۷
۲-۱-۱۳	بررسی ویژگی‌های گونه مورد تحقیق (صنوبر)	۷
۲-۱-۱۴	ساختار چوب صنوبر	۸
۲-۱-۱۵	مشخصات ماکروسکوپی	۸
۲-۱-۱۶	مشخصات میکروسکوپی	۹
۲-۱-۱۷	خصوصیات فیزیکی چوب صنوبر	۹
۲-۱-۱۸	ویژگی‌های شیمیایی صنوبر دلتونیدس	۱۰
۲-۱-۱۹	مشخصات گیاه‌شناسی	۱۰
۲-۱-۲۰	رده‌بندی صنوبرها	۱۰
۲-۱-۲۱	بخش ایگروس (Section Aigeiros Duby)	۱۱
۲-۱-۲۲	موارد مصرف	۱۲

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۷-۱ ضرورت بررسی و شناخت صنوبر.....	۱۲
۸-۱ تاریخچه صنوبر.....	۱۳
۱-۸-۱ تاریخچه کشت صنوبر در ایران.....	۱۳
۹-۱ وضعیت کنونی صنوبر در ایران.....	۱۴
۱۰-۱ مطالعات پژوهشی صنوبر در ایران.....	۱۴
۱۱-۱ تأثیر پوست.....	۱۴
۱۲-۱ فرضیات تحقیق.....	۱۶
۱۳-۱ اهداف تحقیق.....	۱۶
۱۴-۱ سوالهای تحقیق.....	۱۶

فصل دوم / سابقه تحقیق

۲- سابقه تحقیق.....	۱۷
۱-۲ تحقیقات داخلی.....	۱۸
۲-۲ تحقیقات خارجی.....	۲۳

فصل سوم / مواد و روش‌ها

۳- مواد و روش‌ها.....	۲۶
۱-۳ نمونه‌برداری.....	۲۶
۱-۱-۳ مکان نمونه‌برداری.....	۲۶
۲-۱-۳ روش نمونه‌برداری.....	۲۶
۲-۳ تهیه خمیر کاغذ.....	۲۶
۱-۲-۳ تهیه خرده‌چوب (چیپس).....	۲۶
۳-۳ کنترل رطوبت ماده اولیه، خمیر کاغذ و نحوه محاسبه آن.....	۲۷

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۸.....	۳-۴ مراحل تهیه خمیر کاغذ
۲۸.....	۳-۴-۱ آماده‌سازی لیکور (مایع پخت)
۲۹.....	۳-۴-۲ دیگ پخت
۲۹.....	۳-۵-۵ شرایط پخت خمیر کاغذ
۲۹.....	۳-۵-۵-الک کردن خمیر کاغذ
۳۰.....	۳-۶ تعیین بازده خمیر کاغذ
۳۰.....	۳-۷-۱ اندازه‌گیری عددکاپا
۳۰.....	۳-۷-۱-۱ تعریف عددکاپا
۳۲.....	۳-۸ پراکنده‌سازی خمیر کاغذ
۳۲.....	۳-۹ تعیین درجه‌روانی خمیر کاغذ
۳۳.....	۳-۱۰ پالایش خمیر کاغذ
۳۳.....	۳-۱۱ تهیه کاغذ دست‌ساز
۳۵.....	۳-۱۲ تعیین وزن پایه (گراماژ) کاغذ
۳۶.....	۳-۱۳ آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذ
۳۶.....	۳-۱۳-۱ آزمون‌های فیزیکی کاغذ
۳۶.....	۳-۱۳-۱-۱ اندازه‌گیری ضخامت کاغذ
۳۷.....	۳-۱۳-۲-۱ محاسبه حجمی و دانسیته کاغذ
۳۷.....	۳-۱۳-۳-۱ تعیین مقاومت به عبور هوای کاغذ
۳۸.....	۳-۱۳-۳-۲ تعیین خواص مقاومتی کاغذ
۳۸.....	۳-۱۳-۳-۲-۱ شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ
۳۸.....	۳-۱۳-۳-۲-۲ شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ
۳۹.....	۳-۱۴ روش تجزیه و تحلیل آماری

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل چهارم / نتایج و بحث

۴۲.....	۴- نتایج.....
۴۳.....	۱-۴ تأثیر مقدار درصد پوست بر بازده و عددکاپای خمیرکاغذ.....
۴۸.....	۲-۴ ویژگی های کاغذ دست ساز.....
۴۸.....	۳-۴ ویژگی های فیزیکی کاغذ.....
۴۸.....	۱-۳-۴ تأثیر میزان درصد پوست بر ضخامت کاغذ.....
۴۹.....	۲-۳-۴ تأثیر میزان درصد پوست بر دانسیته.....
۵۱.....	۳-۳-۴ تأثیر میزان درصد پوست بر حجیمی.....
۵۲.....	۴-۳-۴ تأثیر مقدار پوست بر مقاومت به عبور هوای کاغذ.....
۵۳.....	۴-۴ ویژگی های مکانیکی کاغذ.....
۵۴.....	۱-۴-۴ تأثیر مقدار درصد پوست بر شاخص مقاومت به ترکیدن.....
۵۵.....	۲-۴-۴ تأثیر مقدار درصد پوست بر شاخص مقاومت به پاره شدن.....
۵۶.....	۵-۴ شرایط فرآیندی.....
۵۶.....	۱-۵-۴ pH مایع بعد از پخت.....

فصل پنجم / نتیجه گیری کلی و پیشنهادات

۵۹.....	۵- نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۶۰.....	۱-۵ نتیجه گیری.....
۶۱.....	۲-۵ پیشنهادات.....
۶۴.....	منابع.....
۶۷.....	پیوست.....

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۴-۱ تأثیر مقدار درصد پوست بر بازده کل خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس..... ۴۴
- شکل ۴-۲ تأثیر مقدار درصد پوست بر بازده خمیر کاغذ بعد از غربال..... ۴۵
- شکل ۴-۳ تأثیر مقدار درصد پوست بر بازده شایو خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس..... ۴۶
- شکل ۴-۴ تأثیر مقدار درصد پوست بر عددکاپای خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس..... ۴۷
- شکل ۴-۵ تأثیر مقدار درصد پوست بر ضخامت کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.. ۴۹
- شکل ۴-۶ تأثیر مقدار درصد پوست بر دانسیته کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس. ۵۰
- شکل ۴-۷ تأثیر مقدار درصد پوست بر حجیمی کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس. ۵۱
- شکل ۴-۸ تأثیر مقدار درصد پوست بر مقاومت به عبور هوای کاغذ..... ۵۳
- شکل ۴-۹ تأثیر مقدار درصد پوست بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ..... ۵۴
- شکل ۴-۱۰ تأثیر مقدار درصد پوست بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ..... ۵۶
- شکل ۴-۱۱ تأثیر مقدار درصد پوست بر PH مایع بعد از پخت..... ۵۷

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۴-۲- تأثیر مقدار درصد پوست بر بازده خمیر کاغذ بعد از غربال حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۴۴
جدول ۴-۳- تأثیر مقدار درصد پوست بر بازده شایو حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۴۵
جدول ۴-۴- تأثیر مقدار درصد پوست بر عددکاپای خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۴۶
جدول ۴-۵- تأثیر مقدار درصد پوست بر ضخامت کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۴۸
جدول ۴-۶- تأثیر مقدار درصد پوست بر دانسیته کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۵۰
جدول ۴-۷- تأثیر مقدار درصد پوست بر حجیمی کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۵۱
جدول ۴-۸- تأثیر مقدار درصد پوست بر مقاومت به عبور هوای کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۵۲
جدول ۴-۹- تأثیر مقدار درصد پوست بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۵۴
جدول ۴-۱۰- تأثیر مقدار درصد پوست بر شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذ کرافت حاصل از خرده‌چوب صنوبر دلتوئیدس.....	۵۵
جدول ۴-۱۱- تأثیر مقدار درصد پوست بر PH مایع بعد از پخت.....	۵۷

فهرست جداول (پیوست)

صفحه

عنوان

- جدول ۱ تعیین فاکتور F برای تصحیح درصدهای مختلف پرمنگنات مصرف شده ۶۸
- جدول ۲ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر بازده خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس ۶۸
- جدول ۳ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر عددکاپای خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس ۶۸
- جدول ۴ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر ضخامت کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس ۶۸
- جدول ۵ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر دانسیته کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس ۶۸
- جدول ۶ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر حجیمی کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس ۶۹
- جدول ۷ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر مقاومت به عبور هوای کاغذ کرافت حاصل از صنوبر دلتوئیدس ۶۹
- جدول ۸ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس ۶۹
- جدول ۹ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس ۶۹
- جدول ۱۰ تجزیه واریانس تأثیر مقدار درصد پوست بر PH مایع بعد از پخت خمیر کاغذ کرافت حاصل از خرده چوب صنوبر دلتوئیدس ۷۰

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱- مقدمه

امروزه اهمیت کاغذ و فرآورده‌های آن در جوامع بشری بر هیچکس پوشیده نیست. کاغذ یک پاره‌ی اصلی تمدن بشر در طی دو هزار سال گذشته بوده است. کاغذ از هنگام پیدایش خود از جمله قابل اعتمادترین وسیله ذخیره دانش و تفکر بشری بوده و در واقع می‌توان گفت که اگر کاغذی وجود نداشت، بشر امروز با تمدن پیشینیان بیگانه بود و فرهنگ‌ها گسترش نمی‌یافت.

اگرچه امروزه وسایل ارتباط جمعی نظیر رادیو، تلویزیون، اینترنت، تلفن و ... نقش مهمی در انتقال اطلاعات ایفا می‌کنند، ولی کاغذ همواره ارزش و جایگاه والای خود را به‌عنوان مطمئن‌ترین، ساده‌ترین، بهترین و ارزان‌ترین وسیله انتقال اطلاعات و افکار بشر داشته است و هر روزه به میزان موارد مصرف آن به شکل‌های گوناگون افزوده می‌شود. در واقع می‌توان گفت صنعت امروز بدون کاغذ مفهومی ندارد، زیرا بسیاری از مواد و کالاهای صنعتی به نحوی توسط کاغذ و فرآورده‌های آن بسته‌بندی می‌شوند. به عنوان مثال، در صنایع غذایی از هنگام حمل مواد اولیه تا توزیع و مصرف مواد غذایی، کاغذ جز لاینفک این صنایع به شمار می‌رود.

در جهان امروز با توجه به وابستگی بسیار زیاد بشر به چوب و فرآورده‌های چوبی و کاغذ و روند افزایش نیاز و مصرف چوب و از طرفی کمبود منابع سلولزی و جنگلی، محققان و پژوهشگران صنایع چوب و کاغذ را بر آن داشته است تا به مطالعه در مورد استفاده از گونه‌های چوبی مناسب با زمان بهره‌برداری کوتاه، پردازند. این گونه‌ها بایستی علاوه بر سازگاری اقلیمی، ساختار مناسبی از لحاظ ترکیبات شیمیایی و الیاف برای تهیه خمیرکاغذ داشته باشند تا در صنعت کاغذسازی قابل استفاده باشند (مشکور ۱۳۸۳).

۱-۱ تاریخچه پیدایش کاغذ

در سال ۱۸۶۶، یک آمریکایی به نام بنیامین تیلگمن فرآیند خمیرسازی سولفیت را توسعه داد. اولین کارخانه‌ای که از این فرآیند استفاده کرد در سال ۱۸۷۴ در سوئد ساخته شد. این فرآیند تا سال ۱۹۷۳ فرآیند غالب خمیرسازی بود. از آن پس تاکنون، خمیرسازی کرافت به عنوان فرآیند خمیرسازی شیمیایی غالب مطرح بوده است. یک شیمیدان آلمانی فرآیند خمیرسازی کرافت را (از یک کلمه آلمانی به معنی قوی) در سال ۱۸۷۹ توسعه داد. اولین کارخانه کرافت در ایالت متحده در سال ۱۹۱۱

در پنساکلای فلوریدا ساخته شد. فرآیند کرافت چندین فایده دارد: مواد شیمیایی استفاده شده برای حل کردن لیگنین برگشت‌پذیر است و مقادیر عظیمی از انرژی در طی فرآیند بازیافت تولید می‌شود و برای سوزنی‌برگان به کار می‌رود. فرآیند کرافت در ایالت متحده برای تولید انبوه کاغذ دنبال شد (مشکور، ۱۳۸۳).

تکامل کاغذ نمایانگر عصر ارتباطات مدرن می‌باشد. بعدها ابداع کاغذ به هم پیوسته موجب توسعه مطبوعات گوتنبرگ شد که برای تولید انبوه مواد قابل چاپ پذیرفته شد. در ایران اولین کارخانه تولید کاغذ در سال ۱۳۲۸ با استفاده از کاه و کاغذ باطله تأسیس شد. اولین کارخانه مدرن تولید خمیر کاغذ نیز در سال ۱۳۴۹ با ظرفیت اسمی سالانه ۱۰۰ هزار تن بنام کارخانه کاغذ پارس در هفت‌تپه خوزستان و جهت استفاده از باگاس طراحی شد. از سایر کارخانه‌های بزرگ تولیدکننده خمیر و کاغذ در ایران می‌توان به صنایع چوب و کاغذ ایران (چوکا) واقع در استان گیلان با ظرفیت اسمی سالانه ۱۵۰ هزار تن و نیز صنایع چوب و کاغذ مازندران با ظرفیت اسمی سالانه ۱۷۵ هزار تن اشاره کرد (مشکور، ۱۳۸۳).

۲-۱ روش‌های تهیه خمیر کاغذ

۱-۲-۱ خمیر کاغذ مکانیکی: ساده‌ترین روش تهیه خمیر کاغذ معمولاً خمیر مکانیکی است. این فرآیند توسط فردریک کلر در سال ۱۸۴۴ در آلمان اختراع شد و توسط چند برادر در سال ۱۸۶۶ به آمریکا معرفی شد. سه نوع از متداول‌ترین خمیرهای مکانیکی عبارتند از:

۱-۲-۲-۱ خمیر کاغذ آسیابی: قدیمی‌ترین و متداول‌ترین فرآیند خمیرسازی مکانیکی بود که در آن چوب به صورت قطعات بریده شده گرده‌بینه و توسط یک خردکن استوانه‌ای پوست‌کنی شده و سپس تحت یک سنگ زبر چرخان قرار گرفته و در اثر سایشی که رخ می‌دهد جداسازی الیافش انجام می‌شود.

۱-۲-۳-۱ خمیر کاغذ مکانیکی پالایشی: این روش در ابتدا در سال ۱۹۶۰ به کار رفت. در این روش ابتدا گرده‌بینه‌ها به خرده‌چوب تبدیل شده و آنگاه الیاف موجود در خرده‌چوب‌ها در بین دو سطح شیاردار که در خلاف یکدیگر می‌چرخند جداسازی می‌شوند.

۴-۲-۱ خمیر کاغذ مکانیکی حرارتی: این روش در سال ۱۹۳۰ به وجود آمد. در این روش خرده‌چوب‌ها ابتدا پیش حرارت‌دهی شده آنگاه تحت تنش و فشار بین شیار و صفحات پالاینده قرار گرفته و از هم جدا می‌شوند.

۵-۲-۱ خمیر کاغذ شیمیایی: هدف فرآیندهای شیمیایی تولید خمیر کاغذ، تجزیه و حل کردن لیگنین است. به طوری که آنچه بر جای می‌ماند عمدتاً سلولز و همی سلولز به صورت نسبتاً تغییر نیافته می‌باشد. در عمل با اعمال روش‌های تولید خمیر کاغذ به طریق شیمیایی می‌توان قسمت عمده لیگنین را خارج کرد. ولی این روش‌ها مقداری از سلولز و همی سلولز را نیز تجزیه می‌کنند. در نتیجه در مقایسه با فرآیندهای مکانیکی، بازده خمیر کاغذ شیمیایی کمتر است و در حدود ۴۰-۵۰ درصد مقدار چوب اولیه می‌باشد. در فرآیندهای شیمیایی، خرده‌چوب‌ها در دما و فشار زیاد با مواد شیمیایی مناسب در محلول پخته می‌شوند. مهمترین و متداول‌ترین فرآیندهای شیمیایی، فرآیند کرافت (قلیایی) و فرآیند سولفیت (اسیدی) می‌باشد (مشکور ۱۳۸۳).

۶-۲-۱ فرآیند قلیایی تولید خمیر کاغذ

مایع پخت مورد استفاده در فرآیند قلیایی سودا، هیدروکسید و برای کرافت هیدروکسید سدیم و سولفید سدیم می‌باشد. در فرآیند قلیایی سودا عامل لیگنین‌زدایی هیدروکسید سدیم می‌باشد و در کرافت سرعت لیگنین‌زدایی در اثر وجود سولفید سدیم افزایش می‌یابد. در نتیجه خرده‌چوب‌ها در این فرآیند در مقایسه با فرآیند سودا به مدت کمتری در معرض قلیای گرم قرار خواهند گرفت تولید خمیر کاغذی قوی‌تر و با زمان کوتاه‌تر نسبت به فرآیند سودا میسر می‌گردد (مشکور ۱۳۸۳).

با توجه به این که در فرآیند قلیایی مواد شیمیایی مصرف شده بازیابی می‌شوند، امکان بازیابی ۱۰۰٪ مواد شیمیایی مصرف شده وجود ندارد. معمولاً ضریب بازیابی ۸۵٪ و در موارد نادر ۹۰٪ در نظر گرفته می‌شود. یعنی ۸۵ تا ۹۰٪ از مواد قلیایی که به برج پخت اضافه می‌شود پس از پخت در فرآیند بازیابی مجدداً به دست می‌آیند. در فرآیند سودا برای جبران مواد شیمیایی هدر رفته از کربنات سدیم و در فرآیند کرافت از سولفات سدیم به عنوان مواد شیمیایی جبران‌کننده استفاده می‌شود. عقیده بر این است که اندیشه اولیه افزودن سولفات سدیم به مایع پخت سیاه غلیظ، کم کردن نقطه ذوب مواد در مرحله احتراق بوده است. ولی شاید دلیل بهتر، ارزانی سولفات سدیم در گذشته و حال

بوده است. دال سعی کرد تا این فرآیند را اقتصادی کند. به طور خلاصه امتیازهای فرآیند سولفات را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- قابلیت انطباق حداکثر به گونه‌های چوبی مختلف و امکان استفاده از چوب‌های متفاوت.
- تحمل درصد بیشتر پوست در خرده‌چوب.
- زمان پخت کوتاه‌تر.
- قابلیت رنگ‌بری و سفید کردن تا درجه شفافیت زیاد (ولی با هزینه بیشتر از خمیرکاغذ سولفیت).
- عدم وجود مسأله پیچ.
- مقاومت زیاد خمیرکاغذ.
- مواد جانبی با ارزش مانند روغن تال و ترانتین.
- سهولت در بازیابی مواد شیمیایی مصرف شده.

معایب اصلی فرآیند سولفات شامل موارد زیر می‌باشد:

- سرمایه‌گذاری زیاد در احداث کارخانه.
- مسأله بوی گازهای خروجی.
- رنگ نامناسب خمیرکاغذ قهوه‌ای.
- هزینه زیاد رنگ‌بری و سفید کردن.
- اشکال در تصفیه خمیرکاغذ جهت تولید خمیرکاغذ قابل حل.
- خصوصیات پالایش کند (حجازی، ۱۳۷۳).

۱-۲-۶-۱ جنبه‌های عمومی لیگنین‌زدایی فرایند کرافت

انحلال لیگنین را می‌توان در سه فاز مورد بررسی قرار داد. اولین فاز لیگنین‌زدایی در دماهای زیر ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد روی می‌دهد و تحت کنترل پدیده انتشار یا پخشیدگی است. در دماهای بیشتر از ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت لیگنین‌زدایی به وسیله واکنش‌های شیمیایی کنترل می‌شود و در اثر زیاد شدن دما به طور مداوم و یکنواخت بیشتر می‌شود. این فاز را فاز لیگنین‌زدایی توده‌ای می‌نامند.

فاز کند نهایی، که فاز زدایش لیگنین باقی مانده نام دارد را می توان با تغییر مواد قلیایی و دمای پخت، تنظیم و کنترل کرد.

سینتیک لیگنین زدایی به ویژه از نظر کنترل فرآیند، از اهمیت زیادی برخوردار است. فرآیند کرافت در مقایسه با فرآیند سولفیت از سینتیک ساده تری تبعیت می کند، اما به علت ناهمگن بودن سیستم، واکنش های تولید خمیرکاغذ پیچیده بوده و در نتیجه نمی توان آن ها را به همان شیوه بررسی واکنش های همگن در محلول مورد مطالعه قرار داد (مشکور، ۱۳۸۳).

در یک واکنش ناهمگن نظیر تولید خمیرکاغذ کرافت مراحل زیر را می توان در نظر گرفت:

- انتقال یون های مایع پخت به داخل خرده چوب به وسیله نفوذ، پخش و انتشار
- جذب یون ها بر سطح ترکیبات تشکیل دهنده چوب
- واکنش بین ترکیبات چوب و یون های جذب شده
- جدا شدن ترکیبات حاصل از واکنش
- انتقال ترکیبات حاصل از واکنش به خارج از خرده چوب به وسیله پخش و انتشار (مشکور، ۱۳۸۳).

۱-۲-۶-۲ واکنش های لیگنین

واکنش های مایع پخت با لیگنین در فرآیند کرافت نسبت به سودا در اثر افزودن سولفیدسديم تسريع شده و در اثر اين پديده در يك بازده ثابت، خمير كاغذ با مقدار ليگنين کمتر و در صورت ثابت بودن مقدار ليگنين، خمير كاغذ با بازده زيادتر قابل دستيابي مي باشد. مطالعه سرعت نسبي ليگنين زدائي چوب نوتل در طی پخت آزمائشي در دو مایع پخت سودا و کرافت نشان داده است که بعد از پخت طولانی (زمان کل پخت برابر ۲۴۰ دقیقه و زمان پخت در حرارت حداکثر ۱۷۰ درجه سانتی گراد برابر ۱۵۰ دقیقه می باشد) در حدود ۸۷ درصد لیگنین اولیه در مایع پخت سودا و در حدود ۹۰ درصد لیگنین در مایع پخت کرافت حل شده است. در مایع پخت کرافت کربوهیدرات های بیشتری حل می شوند و علت این افزایش، لیگنین زدایی سریع تر و قابلیت دسترسی بیشتر پلی ساکاریدها و در نتیجه افزایش حلالیت پلی ساکاریدهای چوب است. از این پدیده می توان نتیجه گرفت که سولفیدسديم موجود در مایع پخت کرافت هیچ گونه نقش حفاظتی برای کربوهیدرات ها ایفا نمی کند (مشکور، ۱۳۸۳).