

## بررسی تهیه خمیر کاغذ از ساقه پنبه به روش سودا

شامحمد امیری<sup>۱</sup>

### چکیده:

به منظور تعیین خصوصیات الیاف، خواص شیمیایی و خمیر کاغذ دهی ساقه پنبه بررسیهای زیر بعمل آمد: در بررسی خصوصیات الیاف، میانگین طول الیاف، قطر کلی الیاف، قطر حفره سلولی، و ضخامت دیواره سلول به ترتیب برابر با ۸۳۹، ۲۴/۴۷، ۱۶/۴۳ و ۴/۰۲ میکرون اندازه گیری شد. بر اساس اندازه گیریهای انجام گرفته ضریب در هم رفتگی، ضریب انعطاف پذیری و ضریب مقاومت در برابر پاره شدن به ترتیب برابر با ۳۴/۲۸، ۶۷/۱۴ و ۴۸/۹۳ محاسبه شد. میانگین مقدار سلولز، لیگنین، مواد استخراجی محلول در الکل - استن و خاکستر ساقه پنبه به ترتیب برابر با ۴۷/۸۳، ۲۱/۶۶ و ۲/۱۳ و ۲/۸۳ در صد اندازه گیری شد. جرم مخصوص خشک ساقه پنبه برابر با ۰/۴۲ گرم بر سانتیمتر مکعب و جرم مخصوص بحرانی ۰/۳۹ گرم بر سانتیمتر مکعب اندازه گیری شد. درصد پوست در ساقه پنبه به میزان ۲۷/۳۴٪ محاسبه گردید.

در بررسی خواص خمیر کاغذ دهی از ساقه پنبه با پوست و بدون پوست، درجه حرارت پخت ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه و روش سودا استفاده شده است. نسبت مایع پخت به ساقه ۵ به ۱ و قلیابیت فعال ۲۰٪ به طور ثابت در تمام مراحل تهیه خمیر کاغذ در نظر گرفته شد. بیشترین میزان بازده برابر با ۶۱/۸۰ درصد در شرایط پخت ساقه پنبه با پوست، درجه حرارت ۱۴۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۳۰ دقیقه بدست آمد. در این شرایط پخت عدد کاپا به میزان ۱۱۴/۷ اندازه گیری شد.

اثر تغییرات زمان و درجه حرارت پخت روی بازده خمیر کاغذ بدست آمده چشمگیرتر از تغییرات حاصل از نحوه بکارگیری ماده خام می باشد. به طوری که اثر ماده اولیه با پوست و بدون پوست بر روی بازده خمیر کاغذ حاصله چندان محسوس نبود. ولی انتخاب زمان و دمای پخت متفاوت تأثیر محسوس روی بازده خمیر بدست آمده داشته است. بنابراین شرایط تهیه خمیر کاغذ با توجه به شرایط میانگین و مطلوب تر شامل بکارگیری ساقه پنبه بدون پوست، دمای پخت ۱۶۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۴۰ دقیقه پیشنهاد می گردد. در این شرایط میزان بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ سودا به ترتیب ۵۰/۴٪ و کاپا ۸۹/۱۵ خواهد بود.

**واژه های کلیدی:** ساقه پنبه، خمیر کاغذ دهی، سودا، بازده، کاپا

<sup>۱</sup>- مربی پژوهشی، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، بخش منابع طبیعی

**مقدمه :**

از آنجایی که ماده خام داخلی مورد نیاز برای صنایع کاغذ کشور در حال کاهش روزافزون است، و از طرفی استفاده حداکثر از منابع ماده اولیه سلولزی موجود عاملی در جهت تحقق اهداف اقتصادی می‌باشد، بنابراین لازم است تا در مورد انواع مواد خام داخلی مناسب برای این صنعت بررسی بعمل آید.

پسماند بسیاری از گیاهان غیر چوبی می‌تواند برای ساخت کاغذ مورد استفاده قرار گیرند که از بین آنها می‌توان از مازاد محصولات کشاورزی از قبیل باگاس، ساقه ذرت، ساقه پنبه، کاه و هم چنین گیاهان خودرو مانند بامبو، اسپارتو، علف فیل، نی، علف سباس، علف جانسن و ... دیگر محصولات غیر چوبی نام برد.

پنبه در جهان یکی از مهمترین محصولات صنعتی و استراتژیک کشاورزی بشمار می‌رود. این محصول که اغلب تحت شرایط بسیار متفاوت طبیعی و اقتصادی در نقاط مختلف دنیا کشت و تولید می‌شود به عنوان یک کالای حیاتی مورد نیاز بشر بوده و کاربرد روزمره دارد، تا جایی که به آن نام " طلائی سفید " داده اند. پنبه گیاهی با توانایی تولید الیاف و منشاء غذا برای انسان و دام محسوب می‌شود. گیاه پنبه بوته‌ای، چوبی و گرمسیری است که امروزه به عنوان یک گیاه یکساله در سراسر جهان کشت می‌شود. بیش از ۳۰ میلیون هکتار زمین زیر کشت پنبه بین ۴۷ درجه عرض شمالی و ۳۲ درجه عرض جنوبی قرار دارد و بالغ بر ۵۰٪ تولید آن از مناطقی حاصل می‌شود که در بالای ۳۰ درجه عرض شمالی قرار دارند (۱۴).

در ایران تحقیق در مورد با استفاده از ضایعات کشاورزی جهت ساخت کاغذ از سال ۱۳۵۵ آغاز شده است. یعقوب زاده (۱۳۵۵) در بررسی مهمترین منابع لیگنوسلولزی ایران و ارزشیابی فنی آن جهت خمیر کاغذ و مقواتیج حاصل از تجزیه شیمیایی هفت نوع از ضایعات کشاورزی را ارائه داده است، در این تحقیق نامبرده خصوصیات شیمیایی ساقه آفتاب گردان، نی، ساقه ذرت دامی، ساقه ذرت خوراکی، کاه

برنج، کاه جو و کاه گندم را گزارش کرده است. بیشترین میزان سلولز مربوط به کاه جو با ۵۳/۳٪ و کمترین میزان مربوط به ساقه ذرت خوراکی با ۳۴/۹۱٪ می‌باشد.

سلیمانی (۱۳۵۵) مطالعه ای با عنوان " بررسی بیومتری الیاف منابع لیگنوسلولزی ایران از نظر کاغذ سازی" را انجام داد. این بررسی بر روی ذرت دامی، ساقه آفتاب گردان، نی، کاه گندم، و کاه برنج انجام شد. میانگین طول فیبر، قطر فیبر، قطر حفره مرکزی، ضخامت دیواره فیبر و ضریب نرمش، مقاومت به پارگی و درهم رفتگی اندازه‌گیری شده است. مطالعات بیومتریک نشان داد که ضرایب در هم رفتگی و انعطاف پذیری این منابع خوب است و می‌توان کاغذهایی با مقاومت در برابر کشش و تا خوردن و مقاومت در برابر ترکیدن خوب ساخت. عدد رانکل کاه برنج کم می‌باشد. ذرت خوراکی بیشترین ضریب نرمش را دارد.

جهان لیبیاری و همکاران (۱۳۷۵) ویژگیهای کاغذ سازی ساقه ذرت را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی با استفاده از روش سودا و کرافت اقدام به ساخت خمیر کاغذ شد. طول الیاف ساقه ذرت ۰/۹۱ میلیمتر گزارش شده است. ترکیبهای شیمیایی شامل سلولز ۴۴/۶۶٪، لیگنین ۲۱/۲۴٪ و خاکستر ۵/۵٪ می‌باشد. شرایط پخت سودا شامل درجه حرارت ۱۶۵ درجه سلسیوس، زمان پخت ۳۰ دقیقه و قلیائیت فعال ۱۴٪ بر مبناء NaOH بوده و نسبت مایع پخت به ساقه ۶ به ۱ انتخاب شد. بازده خمیرکاغذ در این شرایط پخت ۴۰/۵٪ و کاپا ۶۴/۹ تعیین شد.

روح نیا (۱۳۷۷) تولید خمیر کاغذ را از پوست دانه آفتاب گردان به روش سودا را مورد بررسی قرار داد. طول الیاف ۰/۸۹ میلیمتر و ترکیبای شیمیایی پوست دانه آفتاب گردان شامل سلولز ۴۰/۵٪، لیگنین ۳۰/۵٪، خاکستر ۳/۳۳٪ و مواد استخراجی محلول در الکل استن را ۱/۹۳٪ تعیین کرد. بازده و عدد کاپا در شرایط مطلوب درجه حرارت ۱۶۵ درجه سانتیگراد و قلیائیت فعال ۱۶٪ بر مبناء NaOH به ترتیب ۵۵/۷٪ و ۷۴/۹۶٪ بدست آمد.

شکوئی (۱۳۷۶) مطالعه ای با عنوان " بررسی مقایسه ای دو فرایند سودا و کرافت در پخت ساقه پنبه " انجام داد. نامبرده طول الیاف ساقه پنبه را  $0/9$  میلیمتر، ترکیبهای شیمیایی شامل سلولز  $5/53$ ، لیگنین  $33/27$ ، خاکستر  $2/1$  و مواد استخراجی محلول در الکل - استن را  $8/67$  گزارش کرده است. نامبرده مناسبترین شرایط پخت را استفاده از  $16\% \text{ NaOH}$ ، زمان پخت ۲۵ دقیقه و درجه حرارت پخت را  $165$  درجه سلسیوس و نسبت مایع پخت به چوب را ۶ به ۱ اعلام نموده است. در این شرایط پخت بازده خمیر کاغذ  $55/18\%$  و عددکاپا را  $106/1$  گزارش کرده است.

شفیع زاده (۱۳۷۸) در بررسی امکان استفاده از خمیر سودا و NSSC ساقه پنبه برای تولید کاغذ فلوتینگ در صنایع چوب و کاغذ مازندران، اعلام نموده است که با جایگزینی حدود  $20\%$  از خمیر کاغذ سودای ساقه پنبه به جای خمیر کاغذ NSSC مخلوط پهن برگان در مصرف حدود  $70-60$  هزار متر مکعب چوب در سال صرفه جویی می شود. وی بهترین شرایط پخت سودا را قلیایت فعال  $16/5$ ، زمان پخت  $90$  دقیقه، حرارت  $170$  درجه سلسیوس و نسبت مایع پخت به چوب را  $7$  به  $1$  اعلام کرده که بازده خمیر کاغذ در این شرایط  $68\%$  و عدد کاپا  $136/3$  می باشد.

ایزد یار (۱۳۷۷) در بررسی مناسبترین شرایط خمیر کاغذ سازی پخت سودا برای ساقه آفتاب گردان منطقه گرگان، طول الیاف ساقه آفتاب گردان را  $1178/88$  میکرون، سلولز  $52/47$ ، لیگنین  $66/22$ ، خاکستر  $52/7$  و مواد استخراجی محلول در الکل - استن را  $35/5$  گزارش کرده است. نامبرده بهترین شرایط پخت را زمان پخت  $50$  دقیقه، قلیایت فعال  $18$ ، حرارت  $165$  درجه سلسیوس و نسبت مایع پخت به چوب را  $6$  به  $1$  اعلام کرده است.

پور طاهریان (۱۳۷۵) بررسی بر روی خواص آناتومیکی و شیمیایی و خواص خمیر دهی کاه گندم به روش سودا را انجام داده شرایط مناسب پخت را دمای  $170$  درجه

سلسیوس، زمان پخت ۶۰ دقیقه، قلیایت فعال ۲۰٪ و نسبت مایع پخت به چوب ۲ به ۱ اعلام کرده که در این شرایط بازده ۵۸/۴٪ و کاپا ۶۵/۴ حاصل شد. سروش (۱۳۸۳) در بررسی خود با عنوان " بررسی تأثیر استفاده از خمیر کاغذ سودای ساقه پنبه بر کیفیت حاصل از خمیر باز یافتی کاغذهای بسته‌بندی باطله" با توجه به دامنه تغییرات بازده از پخت‌های مختلف، مناسبترین شرایط پخت را قلیایت ۲۰٪، زمان پخت ۹۰ دقیقه و بازده ۴۱٪ را برای اختلاط با خمیر کاغذ باز یافتی گزارش کرده است.

عزیزی موصولو (۱۳۷۹) بررسی بر روی ویژگی خمیر سودا از کاه گندم جهت تولید مقوا و ارزیابی تأثیر درجات اختلاط کاغذ باطله، درجه حرارت پخت ۱۷۰ درجه سلسیوس، نسبت مایع پخت به ماده اولیه را ۸ به ۱، زمان پخت ۳۰ دقیقه، قلیایت فعال ۱۴٪ را شرایط پخت بهینه اعلام کرده که بازده ۶۵/۱٪ و کاپا ۷۴/۴ حاصل شد. Assumpcao (۱۹۹۱) در مقاله خود تحت عنوان " استفاده از الیاف غیر چوبی در فعالیتهای تهیه خمیر و کاغذ " بیان می‌کند که در سال ۱۹۸۸ کشورهای در حال توسعه ۸۸٪ کل محصولات بدست آمده از الیاف غیر چوبی را تولید کردند. کشورهای نظیر چین و هندوستان بیشترین مقدار خمیر و کاغذ خود را در کارخانه‌هایی کوچک با ظرفیت کمتر از ۱۰۰۰ تن در سال تولید می‌کنند. در چین سالیانه ۹ میلیون تن خمیر کاغذ از منابع مختلف سلولزی تولید می‌شود که ۷۵٪ آن از منابع سلولزی غیر چوبی است. در چین استفاده از منابع سلولزی غیر چوبی در جهت تامین خمیر کاغذ به منظور توسعه صنایع کاغذ سازی از اهمیت خاصی برخوردار است. نی، کاه و ضایعات پنبه، کنف و کتان از مهمترین منابعی هستند که در چین به مقیاس وسیع استفاده می‌شوند، به علاوه باگاس و بامبو نیز اخیراً مورد توجه قرار گرفته اند.

Hunter (۱۹۸۹) در مقاله خود با عنوان برخی ملاحظات اقتصادی در اجراء یک طرح تهیه خمیر و کاغذ از الیاف غیر چوبی آورده است: تولید خمیر کاغذ از الیاف

غیر چوبی به خصوص در کشورهای روبه توسعه که موجودی چوب آنها کم یا فاقد منابع چوبی هستند موضوع بسیار جذابی به نظر می‌رسد. در این مقاله هانتر اشاره دارد که انجام طرحها دهها میلیون دلار هزینه دارد بنابراین مواد خام باید سالیانه در مقیاس ثابت و مشابه در دسترس باشند و به هزینه هایی از قبیل جمع آوری محصول و انتخاب آن، حمل و نقل، آماده سازی الیاف و انبار کردن آنها توجه زیاد معطوف گردد. به عنوان مثال اگر نی به شدت مورد برداشت قرار گیرد امکان تجدید رشد آن کم است و این نظر همین طور در مورد رشد و برداشت سایر محصولات غیر چوبی نظیر باگاس و کاه برنج به شکل دیگری وجود دارد. برای تولید ۱ تن خمیر سفید شده حدود ۳٫۹ تن کاه برنج مورد نیاز است.

Jeyasinga (۱۹۹۰) عنوان می‌کند که تولید تجارتي کارخانه هایی که از الیاف غیر چوبی نظیر باگاس و کنف برای تولید کاغذ روزنامه استفاده می‌کنند از دهه ۱۹۷۰ آغاز شده است. یونیدو (سازمان توسعه صنعتی کشورها) در سال ۱۹۶۶ آغاز به کار کرد و تا به امروز ۱۵۴ طرح در ارتباط با تهیه خمیر کاغذ را تصویب و اجرا نموده است، اعلام کرده که ۷۰٪ این طرحها در ارتباط با تهیه خمیر از الیاف غیر چوبی می‌باشد.

Kilpiner (۱۹۹۱) مقاله ای تحت عنوان " لزوم کیفیت و حمل و نقل برای الیاف خام غیر چوبی خریداری شده " منتشر کرد که در آن اشاره به تهیه خمیر کاغذهای مختلف از مواد غیر چوبی متداول مانند آباکا، پنبه، کنف، الیاف گیاهان دانه‌های روغنی، پارچه‌های کتان و سیزال دارد و اشاره می‌کند که خمیرها به طریقی باید تهیه شوند که از نقطه نظر اقتصادی قابل قبول باشد.

Jimenez (۱۹۹۳) و همکاران از دانشگاه کوردوبای اسپانیا مقاله ای با عنوان ارزیابی ضایعات کشاورزی برای ساخت کاغذ منتشر کردند. در این بررسی مشخصات شیمیایی و بازده خمیر حاصل از سرشاخه‌های زیتون، کاه گندم، ساقه آفتاب گردان، سرشاخه‌های مو و ساقه پنبه مورد بررسی قرار گرفت. ضایعات نامبرده به روش سودا

با شرایط یکسان شامل درجه حرارت ۱۴۸ درجه سلسیوس، زمان پخت ۶۰ دقیقه و نسبت مایع پخت به ماده اولیه ۶ به ۱ بود. بازده خمیرهای بدست آمده نشان داد که بیشترین میزان بازده مربوط به ساقه پنبه و کمترین میزان آن مربوط به ساقه آفتاب گردان و کاه گندم است. مناسبترین ماده برای تولید کاغذ کاه گندم و نامناسبترین سرشاخه‌های مو می‌باشد. همچنین خمیر ساقه پنبه کمترین میزان لیگنین زدایی را داشت.

Goyal و همکاران (۱۹۹۱) در مقاله‌ای با عنوان مقایسه جنبه اقتصادی تولید خمیر از ساقه غلات به روش سودا و سودا آنتراکینون ارائه نمودند. آنها در تحقیق خود از کاه گندم و کاه برنج به دو روش فوق خمیر کاغذ تهیه کردند و در نتیجه برای هر دو گونه فرایند سودا آنتراکینون با مصرف ۰/۱ درصد آنتراکینون را پیشنهاد کردند.

Baharti و همکاران (۱۹۹۶) ویژگیهای تشریحی و شیمیایی ساقه پنبه را مورد بررسی قرار دادند و اعلام داشتند که ساقه پنبه هم بافت آبکشی و هم فیبر مغزی دارد و همچنین بیش از ۷۲/۴٪ سلولز و همی سلولز و کمتر از ۱۹/۵٪ لیگنین دارد که وجود سلولهای پوست همراه الیاف آبکش در ساخت خمیر رنگبری شده مشکلاتی را ایجاد می‌کند.

Mona.Ali (۲۰۰۱) و همکاران با استفاده از فرایند سودا آنتراکینون از ساقه پنبه مصری و آمریکایی خمیر کاغذ تهیه کردند. در یک قلیابیت ثابت ۱۸٪ هر دو نوع خمیر عدد کاپای مشابهی داشتند.

در این راستا هدف دستیابی به شرایط و خصوصیات است که با استفاده از آنها از ساقه پنبه که بخش عمده‌ای از گیاه پنبه می‌باشد، بتوان به صورت مناسبی در صنایع خمیر و کاغذ استفاده نمود.

**مواد و روشها:**

- محل نمونه برداری : نمونه‌های ساقه پنبه از مزارع پنبه اطراف شهرستان گرگان، منطقه سرخنگلاته جمع‌آوری شد.
- اندازه‌گیری ابعاد الیاف: جهت اندازه‌گیری ابعاد الیاف جدا سازی از روش فرانکلین (۱۹۴۵) و استفاده از مخلوط آب اکسیژنه و اسید استیک به نسبت مساوی استفاده گردید.
- اندازه‌گیری وزن مخصوص خشک و بحرانی : طبق روش ارشمیدس و خشک کردن در اتو با حرارت  $103 \pm 2$  درجه سلسیوس و به مدت ۲۴ ساعت انجام شد.
- اندازه‌گیری درصد پوست و چوب ساقه پنبه : ۱۰۰ گرم خرده چوب مرطوب پوست کنی و پوست و چوب به طور جداگانه در اتو با حرارت  $103 \pm 2$  خشک و سپس توزین و درصد پوست و چوب ساقه پنبه اندازه‌گیری شد.
- اندازه‌گیری ترکیبهای شیمیایی : اندازه‌گیری ترکیبهای شیمیایی ساقه پنبه با استفاده از استانداردهای TAPPI به شرح زیر انجام شد:  
 برای تهیه آرد چوب از دستورالعمل T 257cm-88 استفاده شد.  
 برای تهیه پودر چوب عاری از مواد استخراجی از دستورالعمل T264 om 88 استفاده شد.
- روش اسید نیتریک برای اندازه‌گیری مقدار سلولز استفاده شد.  
 جهت اندازه‌گیری لیگنین از دستورالعمل T 222 om - 88 استفاده شد.  
 جهت اندازه‌گیری مواد استخراجی محلول در الکل - استن از دستورالعمل T 204 om - 88 استفاده شد.
- جهت اندازه‌گیری میزان خاکستر از دستورالعمل T 211 om - 88 استفاده شد.
- عوامل متغیر در تهیه خمیر کاغذ به روش سودا:  
 - نوع بکارگیری ماده خام: ساقه پنبه با پوست و بدون پوست



- درجه حرارت پخت: ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس

- زمان پخت: ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه

- اندازه گیری عدد کاپا: برای تعیین عدد کاپا از دستورالعمل T 236 cm - 85

استفاده شد.

- طرح آماری: برای ارائه مشخصات الیاف و خواص شیمیایی از روش میانگین و انحراف از معیار انجام شد. و برای بررسی خواص خمیر کاغذدهی از طرح عاملیل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی (۳ بلوک) انجام شد. تجزیه و تحلیل نهایی با استفاده از آزمون دانکن و روش تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار MSTAT انجام شد و بدین جهت اثرات مستقل و متقابل هر یک از عوامل متغیر بر خواص مورد مطالعه یعنی بازده و عدد کاپا در سطح ۹۹٪ انجام شد.

#### ۴- نتایج:

##### ۱- ۴- مشخصات الیاف:

نتایج حاصل از اندازه گیری ابعاد الیاف و ضرایب کاغذ سازی در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول شماره ۱: میانگین ابعاد الیاف و ضرایب کاغذ سازی ساقه پنبه

میانگین	ضرایب	اندازه (میکرون)	ابعاد الیاف
	ضریب در هم رفتگی (ضریب لاغری)	۸۳۹±۷/۸۹	طول الیاف (L)
۳۴/۲۸±۱/۸۶	L/D*100	۲۴/۴۷±۱/۴	قطر کلی الیاف (d)
۶۷/۱۴±۱/۵۳	c/d*100 (انعطاف پذیری)	۱۶/۴۳±۱/۲۴	قطر حفره سلولی (c)
۴۸/۹۳±۱/۲۲	ضریب مقاومت در برابر پاره شدن (رانکل)	۴/۰۲±۰/۶	ضخامت دیواره سلولی (p)
	2p/c*100		

ابعاد الیاف به ویژه طول الیاف و قطر کلی الیاف از ویژگیهای مهم الیاف در تولید کاغذ می‌باشد. طول الیاف می‌تواند یکی از عوامل کنترل کننده در جهت یابی الیاف در کاغذ بدست آمده بشمار آید، بدین ترتیب که الیافی که طول کوتاه تر دارند قادرند در جهت عمودی و یا در جهت Z کاغذ بدست آمده قرار گیرند. طول الیاف ساقه پنبه منطقه سرخنکلاته برابر با ۸۳۹ میکرون بدست آمد. روح نیا (۱۳۷۷) طول الیاف پوست دانه آفتاب گردان را ۰/۸۹ میلی‌متر، ایزد یار (۱۳۷۷) میانگین طول الیاف ساقه آفتاب گردان را ۱۱۷۸/۸۸ میکرون، جهان لتیاری (۱۳۷۵) طول الیاف ساقه ذرت را ۹۱۷ میکرون، کاشانی (۱۳۷۵) میانگین طول الیاف کاه گندم را ۱/۵۲ و کاه برنج را ۱/۳۵ میلی‌متر و شکوئی (۱۳۷۶) میانگین طول الیاف ساقه پنبه از منطقه قرن آباد گرگان را ۹۱۰ میکرون، قطر فیبر آن را ۲۸/۲۷ میکرون، قطر حفره سلولی را ۲۲/۳۱ میکرون و ضخامت دیواره سلولی را ۳/۱۸ میکرون گزارش کرده است. نتایج حاکی از آن است که منابع غیر چوبی سلولزی طول الیاف مناسب جهت استفاده در فرایندهای ساخت کاغذ هستند. با استفاده از اندازه گیریهای بدست آمده، ضرایب کاغذ سازی الیاف ساقه پنبه نیز محاسبه گردید.

نسبت طول الیاف به قطر کلی الیاف که به ضریب در هم رفتگی موسوم است عامل مهم دیگری است که در کیفیت مقاومت مکانیکی کاغذ بدست آمده تأثیر دارد. این ضریب که بین ۱۵۰-۲۰ متغیر می‌باشد، هر چه میزان آن بیشتر باشد مقاومت مکانیکی کاغذ بدست آمده نیز بیشتر خواهد بود. میزان این ضریب در ساقه پنبه مورد مطالعه برابر با ۳۴/۲۸ محاسبه شد که نشان دهنده میزان در هم رفتگی پایین می‌باشد. ضریب نرمش یا انعطاف پذیری ۶۷/۱۴ محاسبه گردید با توجه به اینکه این ضریب بین ۵-۹۰ متغیر می‌باشد می‌توان اظهار کرد که الیاف ساقه پنبه ضریب نرمش مطلوبی دارد. ضریب رانکل یا ضریب مقاومت در برابر پاره شدن ۴۸/۹۳ محاسبه شد. این ضریب

بین ۱۰۰-۰ متغیر می‌باشد. می‌توان اظهار کرد که الیاف ساقه پنبه مقاومت به پاره شدن تقریباً "مناسبی" دارد.

#### ۲-۴- وزن مخصوص خشک و بحرانی :

نتایج حاصل از اندازه‌گیری وزن مخصوص خشک و بحرانی نشان می‌دهد که وزن مخصوص خشک ساقه پنبه برابر با ۰/۴۲ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد و از این لحاظ دارای وزن مخصوص خشک پایین و جزء چوبهای بسیار سبک (۰/۵ - ۰/۴ گرم بر سانتیمتر مکعب) محسوب می‌گردد. جرم مخصوص بحرانی آن نیز ۰/۳۹ گرم بر سانتیمتر مکعب اندازه‌گیری شد. ایزدی‌ار (۱۳۷۷) دانسیته خشک ساقه آفتاب گردان را ۰/۳۹۸ گرم بر سانتیمتر مکعب و شکوئی (۱۳۷۶) دانسیته خشک ساقه پنبه منطقه قرن‌آباد را ۰/۴۱ گرم بر سانتیمتر مکعب اعلام نموده است.

#### ۳-۴- میزان پوست و چوب ساقه پنبه :

نتایج اندازه‌گیری میزان پوست و چوب ساقه پنبه نشان می‌دهد که ساقه پنبه دارای ۲۷/۳۴٪ پوست می‌باشد. که در مقایسه با نسبت پوست درختان ۵-۱۰٪ نشان می‌دهد که میزان پوست در ساقه پنبه به مراتب بیشتر از میزان پوست در درختان است.

#### ۴ - ۴ - ویژگیهای شیمیایی :

نتایج اندازه‌گیری ترکیبهای شیمیایی ساقه پنبه در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول شماره ۲: میانگین ترکیبهای شیمیایی تشکیل دهنده ساقه پنبه

مواد استخراجی			
سلولز (%)	لیگنین (%)	محلول در الکل - استن (%)	خاکستر (%)
۴۷/۸۳±۰/۸۷	۲۱/۶۶±۱/۳	۲/۱۳±۰/۴۳	۲/۸۳±۰/۲۱

سلولز جزء اصلی چوب بوده و تعیین میزان آن به لحاظ شناخت خصوصیات کاربردی یک گونه چوبی و یا ماده خام لیگنوسلولزی ضروری می‌باشد. میزان آن در ساقه پنبه پوست کنی شده برابر با  $47/83\%$  اندازه‌گیری شد که نشان دهنده مطلوبیت آن به عنوان ماده خام برای صنایع تبدیلی شیمیایی می‌باشد. روح نیا (۱۳۷۷) میزان سلولز پوست دانه آفتاب گردان را  $40/5\%$ ، ایزدی‌ار (۱۳۷۷) سلولز ساقه آفتاب گردان را  $47/52\%$  و شکوئی (۱۳۷۶) میزان سلولز ساقه پنبه از منطقه قرن آباد را  $53/5\%$  گزارش نموده اند.

#### ۵ - ۴ - ویژگیهای خمیر کاغذ دهی

##### ۱ - ۵ - ۴ - بازده خمیر کاغذ:

نتایج حاصل از تولید خمیر کاغذ در اثر ترکیب شرایط مورد بررسی، ماده خام در دو سطح ساقه پنبه با پوست و ساقه پنبه بدون پوست، دمای پخت در سه سطح ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان پخت در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه، جمعاً ۱۸ شرایط در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول شماره ۳: میانگین بازده و گروه‌بندی دانکن برای شرایط متفاوت

گروه‌بندی دانکن (سطح اعتماد ۹۹٪)	میانگین بازده ( % )	زمان پخت (دقیقه)	دمای پخت (درجه سلسیوس)	نحوه بکارگیری ماده خام
A	۶۱/۸۰	۳۰		
A	۶۱/۲۰	۴۰	۱۴۰	
B	۵۴	۵۰		
C	۵۱/۸۰	۳۰		
CD	۵۱/۲۰	۴۰	۱۶۰	با پوست
E	۴۹	۵۰		
F	۴۴/۸۰	۳۰		
G	۴۳/۰۰	۴۰	۱۸۰	
I	۳۲/۰۰	۵۰		
A	۶۱/۶۰	۳۰		
A	۶۰/۸۰	۴۰	۱۴۰	
B	۵۳/۶۰	۵۰		
CD	۵۱/۴۰	۳۰		
D	۵۰/۴۰	۴۰	۱۶۰	بدون پوست
E	۴۸/۰۰	۵۰		
H	۴۱/۰۰	۳۰		
I	۳۳/۸۰	۴۰	۱۸۰	
J	۲۷/۸۰	۵۰		

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص می‌گردد که میانگین بازده خمیر کاغذ بدست آمده در سطح ۹۹٪ با یکدیگر اختلاف معنی داری دارند. بیشترین میزان بازده مربوط به ساقه پنبه با پوست، دمای پخت ۱۴۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۳۰ یا ۴۰ دقیقه می‌باشد که برابر با ۶۱/۸۰٪ و ۶۱/۲۰٪ می‌باشد و در گروه‌بندی دانکن در گروه (A) قرار دارد. کمترین میزان بازده مربوط به ساقه پنبه بدون پوست، دمای پخت ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۵۰ دقیقه می‌باشد که در این شرایط بازده بدست آمده برابر ۲۷/۸۰٪ و در گروه‌بندی الفبایی در گروه (J) قرار می‌گیرد.

محاسبات آماری تجزیه واریانس که در جدول شماره ۴ آورده شده است نشان می‌دهد که اثرهای مستقل و متقابل عوامل فوق در سطح اعتماد ۹۹٪ معنی‌دار می‌باشد. ضریب تغییرات برابر با ۱/۱۲٪ محاسبه گردید که نشان دهنده قابل قبول بودن این آزمایش می‌باشد.

جدول شماره ۴: تجزیه واریانس بازده خمیر کاغذ تهیه شده از ساقه پنبه

جدول	محاسبه F	میانگین MS	مجموع مربعات SS	درجه آزادی d.f	منابع تغییر S.O.V
۵/۲۹	۲۳/۷۵۷۶	۷/۰۹۴	۱۴/۱۸۸	۲	بلوک
۷/۴۴	۲۵۰/۸۶۴۰	۷۴/۹۰۷	۷۴/۹۰۷	۱	عامل A (ماده اولیه)
۵/۲۹	۷۱۷۵/۸۱۸۴	۲۱۳۷/۲۸۳	۴۲۷۴/۵۷۳	۲	عامل B (دمای پخت)
۵/۲۹	۱۵۰/۷۲۸۲	۴۵/۰۰۷	۹۰/۰۱۳	۲	اثر متقابل AB (ماده اولیه + دمای پخت)
۵/۲۹	۱۰۰۷/۷۴۲۸	۳۰۰/۹۰۷	۶۰۱/۸۱۳	۲	عامل C (زمان پخت)
۵/۲۹	۱۵/۶۲۸۸	۴/۶۶۷	۹/۳۳۳	۲	اثر متقابل AC (ماده اولیه + زمان پخت)
۳/۹۳	۱۲۳/۹۰۲۶	۳۶/۹۹۷	۱۴۷/۹۸۷	۴	اثر متقابل B (دمای پخت + زمان پخت)
۳/۹۳	۱۲/۶۴۸۱	۳/۷۷۷	۱۵/۱۰۷	۴	اثر متقابل ABC (ماده اولیه + دمای پخت + زمان پخت)
--	--	۰/۲۹۹	۱۰/۱۵۲	۳۴	خطا
			۵۲۳۷/۰۷۳	۵۳	کل

نتایج بررسی تأثیر شرایط تهیه خمیر کاغذ بر بازده نشان می‌دهد که عواملی که اثر تخریبی بر ساقه پنبه دارند تأثیر منفی بر بازده نیز دارند. در اثر زیاد شدن دما و زمان پخت که اثر تخریبی بر ترکیبهای تشکیل دهنده ساقه پنبه دارند میزان بازده به طور معنی داری کم شده است. تأثیر عامل پوست در این نوع خمیر کاغذ چندان محسوس نبوده و در شرایط پخت یکسان یعنی دمای پخت ۱۴۰ درجه سلسیوس و زمان پخت

۳۰ دقیقه و با ساقه پنبه بدون پوست میزان بازده برابر با ۶۱/۶۰٪ بوده و در گروه بندی الفبایی دانکن نیز در گروه (A) قرار می گیرد.

شفیع زاده (۱۳۷۸) بهترین شرایط مخلوط خمیرهای سودا و NSSC ساقه پنبه را برای تولید کاغذ فلوتینگ را قلیابیت فعال ۱۶/۵٪، زمان ۹۰ دقیقه، حرارت ۱۷۰ درجه سلسیوس و نسبت مایع پخت ۷ به ۱ اعلام نموده و بازده ۶۸٪ و کاپا ۱۳۶/۳ را بدست آورده است. پورطاهریان (۱۳۷۵) برای تهیه خمیر سودا از کاه گندم بهترین شرایط پخت را حرارت ۱۷۰ درجه سلسیوس، زمان پخت ۶۰ دقیقه، قلیابیت فعال ۲۰٪ و نسبت مایع پخت را ۲۰ به ۱ اعلام نموده و بازده خمیر در این شرایط برابر با ۵۸/۴٪ و کاپا ۶۵/۴ گزارش شده است. شکوئی (۱۳۷۶) بهترین شرایط پخت خمیر سودا از ساقه پنبه از منطقه قرن آباد را قلیابیت ۱۶٪، زمان پخت ۲۵ دقیقه و حرارت پخت ۱۶۵ درجه سلسیوس و نسبت مایع پخت ۶ به ۱ اعلام نموده و بازده در این شرایط برابر با ۵۵/۱۸٪ و کاپا ۱۰۶/۱ بدست آورد. (روح نیا، ۱۳۷۷) برای تولید خمیر از پوست دانه آفتاب گردان بهترین شرایط پخت سودا را قلیابیت فعال ۱۶٪، حرارت پخت ۱۶۵ درجه سلسیوس و نسبت مایع پخت را ۶ به ۱ اعلام نموده و بازده ۵۵/۷٪ و کاپا ۷۴/۹۶ می باشد. (عزیزی، ۱۳۷۹) برای تهیه خمیر سودا از کاه گندم شرایط حرارت پخت ۱۷۰ درجه سلسیوس، زمان پخت ۳۰ دقیقه، قلیابیت فعال ۱۴٪ و نسبت مایع پخت ۸ به ۱ را انتخاب که میزان بازده بدست آمده در این شرایط برابر با ۶۵/۱٪ و کاپا ۷۴/۴ می باشد. (ایزدیار، ۱۳۷۷) برای تهیه خمیر سودا از ساقه آفتاب گردان، بهترین شرایط پخت را حرارت پخت ۱۶۵ درجه سلسیوس، زمان ۵۰ دقیقه، قلیابیت ۱۸٪ و نسبت مایع پخت را ۶ به ۱ اعلام نموده که میزان بازده خمیر در این شرایط برابر با ۵۴/۷۸٪ و کاپا ۹۳/۸۲ می باشد.

## ۲-۵-۴- عدد کاپا:

در نتیجه ترکیب شرایط، عامل نحوه بکارگیری ماده خام در دو سطح ساقه پنبه با پوست و ساقه پنبه بدون پوست، عامل دمای پخت در سه سطح ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس و عامل زمان پخت در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه، در کل ۱۸ سطح از ترکیب شرایط بدست آمد. میانگین محاسبات در جدول شماره ۵ آورده شده است.

جدول شماره ۵: میانگین عدد کاپا و گروه‌بندی دانکن برای شرایط متفاوت.

گروه‌بندی دانکن (سطح اعتماد ۹۹٪)	میانگین کاپا	زمان پخت (دقیقه)	دمای پخت (درجه سلسیوس)	نحوه بکارگیری ماده خام
A	۱۱۴/۷	۳۰		
C	۱۰۷	۴۰	۱۴۰	
F	۹۴/۷۵	۵۰		
C	۱۰۸	۳۰		
D	۱۰۰/۴	۴۰	۱۶۰	با پوست
G	۸۹	۵۰		
E	۹۶/۹۲	۳۰		
EF	۹۵/۹۳	۴۰	۱۸۰	
H	۸۳/۰۴	۵۰		
B	۱۱۱/۲	۳۰		
D	۱۰۰/۴	۴۰	۱۴۰	
G	۸۸/۴۷	۵۰		
C	۱۰۸/۴	۳۰		
G	۸۹/۴۵	۴۰	۱۶۰	بدون پوست
I	۷۸/۸۱	۵۰		
J	۶۵/۲۸	۳۰		
J	۶۵/۲۸	۴۰	۱۸۰	
J	۶۴/۳۲	۵۰		

بیشترین میزان عدد کاپای خمیر کاغذ بدست آمده از ساقه پنبه مربوط به شرایط تهیه نحوه بکارگیری ساقه پنبه با پوست، دمای پخت ۱۴۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۳۰ دقیقه است که برابر با ۱۱۴/۷ می‌باشد و در گروه‌بندی الفبایی دانکن در گروه (A) قرار می‌گیرند و کمترین میزان عدد کاپا مربوط به شرایط تهیه ساقه پنبه بدون پوست،



دمای پخت ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۵۰ دقیقه است که برابر با ۶۴/۳۲ می‌باشد و در گروه‌بندی دانکن در گروه (J) قرار می‌گیرند. نتایج بررسی تأثیر شرایط تهیه خمیر کاغذ از ساقه پنبه بر عدد کاپا نشان می‌دهد که عوامل مخرب بر ساقه پنبه یعنی دما و زمان پخت تأثیر منفی بر عدد کاپا داشته‌اند و در اثر زیاد شدن میزان این عوامل میزان لیگنین زدایی نیز بیشتر می‌شود و عدد کاپا کاهش می‌یابد.

جدول تجزیه واریانس (جدول شماره ۶) عدد کاپا نشان از معنی‌دار بودن اثرات نحوه بکارگیری ماده خام، دمای پخت و زمان پخت در سطح اعتماد ۹۹٪ می‌باشد. ضریب تغییرات در این جدول برابر با ۰/۸۵٪ بدست آمد که قابل قبول می‌باشد.

جدول شماره ۶: تجزیه واریانس عدد کاپا خمیر کاغذ تهیه شده از ساقه پنبه

جدول F/۰,۱	محاسبه F	میانگین MS مربعات	مجموع مربعات SS	درجه آزادی d.f	منابع تغییر S.O.V
۵/۲۹	۱۴/۵۷۳۱	۹/۰۶۰	۱۸/۱۱۹	۲	بلوک
۷/۴۴	۳۷۳۹/۵۱۵۰	۲۳۲۴/۷۳۳	۲۳۲۴/۷۳۳	۱	عامل A (ماده اولیه)
۵/۲۹	۴۵۱۹/۶۰۷۶	۲۸۰۹/۶۹۱	۵۶۱۹/۳۸۱	۲	عامل B (دمای پخت)
۵/۲۹	۱۰۴۹/۷۷۵۶	۶۵۲/۶۱۱	۱۳۰۵/۲۲۲	۲	اثر متقابل AB (ماده اولیه + دمای پخت)
۵/۲۹	۲۲۷۸/۴۶۷۵	۱۴۱۶/۴۴۸	۲۸۳۲/۸۶۹	۲	عامل C (زمان پخت)
۵/۲۹	۴۷/۱۷۳۹	۱۹/۳۲۶	۵۸/۶۵۳	۲	اثر متقابل AC (ماده اولیه + زمان پخت)
۳/۹۳	۲۱۱/۵۹۴۲	۱۳۱/۵۴۱	۵۲۶/۱۶۴	۴	اثر متقابل BC (دمای پخت + زمان پخت)
۳/۹۳	۹۱/۱۷۱۳	۵۶/۶۷۸	۲۲۶/۷۱۳	۴	اثر متقابل ABC (ماده اولیه + دمای پخت + زمان پخت)
--	--	۰/۶۲۲	۲۱/۱۳۷	۳۴	خطا
			۱۲۹۳۳/۰۱۸	۵۳	کل

## ۵- بحث و نتیجه گیری :

با توجه به نتایج بدست آمده از بررسی ویژگیهای الیاف، خصوصیات شیمیایی و همچنین خمیر کاغذ تهیه شده از ساقه پنبه در ترکیب شرایط مختلف نحوه بکارگیری ماده خام در دو سطح ساقه پنبه با پوست و ساقه پنبه بدون پوست، درجه حرارت پخت در سه سطح ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان پخت در سه سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دقیقه و تجزیه و تحلیل نهایی با استفاده از روش آماری عاملیل در قالب بلوک تصادفی انجام و در نهایت مقایسات میانگینها به روش دانکن صورت گرفت.

نتایج اندازه گیری ویژگیهای ساقه پنبه نشان می دهد که طول الیاف ساقه پنبه ۸۳۹ میکرون، قطر کلی الیاف ۲۴/۴۷ میکرون، قطر حفره سلولی ۱۶/۴۳ میکرون و ضخامت دیواره سلولی ۴/۰۲ میکرون می باشد. اندازه گیری مشخصات الیاف در تعیین ضرایب کاغذسازی اهمیت زیادی دارد که ضرایب محاسبه شده برای ضریب در هم رفتگی برابر ۳۴/۲۸، ضریب انعطاف پذیری ۶۷/۱۴ و ضریب مقاومت در برابر پاره شدن برابر ۴۸/۹۳ می باشد. ضرایب محاسبه شده نشان از قوت یا ضعف های کاغذ ساخته شده از ساقه پنبه خواهد داشت، به طوری که ضریب لاغری پایین و در نتیجه کاغذ بدست آمده از مقاومت مکانیکی پایینی برخوردار خواهد شد. ضریب نرمش یا انعطاف پذیری در حد مطلوب و ضریب مقاومت در برابر پاره شدن نیز تقریباً مناسب می باشد.

نتایج اندازه گیری ترکیبهای شیمیایی ساقه پنبه نشان می دهد که ساقه پنبه حاوی ۴۷/۸۳٪ سلولز، ۲۱/۶۶٪ لیگنین، ۲/۱۳٪ مواد استخراجی محلول در الکل - استن و ۲/۸۳٪ خاکستر می باشد. سلولز جزء اصلی دیواره سلول می باشد و هر چه میزان آن در ساقه پنبه بیشتر باشد، بهتر است. بعد از سلولز لیگنین و همی سلولز اجزاء مهم جدار سلول می باشد که پلیمرهای سه بعدی می باشند. تفاوت لیگنین با کربوهیدراتها در عدم جذب آب است، لیگنین در دمای ۱۶۵ تا ۱۷۵ درجه سلسیوس شروع به نرم شدن

می‌کند. مواد استخراجی تأثیر مستقیم چندانی روی خواص مقاومت مکانیکی کاغذ بدست آمده ندارند اما سبب افزایش وزن ویژه و رطوبت تعادل آن می‌گردند.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری میزان بازده خمیر کاغذ بدست آمده نشان می‌دهد که بیشترین میزان بازده مربوط به شرایط نحوه بکارگیری ساقه پنبه با پوست، درجه حرارت پخت ۱۴۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۳۰ دقیقه می‌باشد که برابر با  $11/80\%$  و در گروه‌بندی الفبایی دانکن در گروه (A) قرار می‌گیرد. کمترین میزان بازده خمیر کاغذ حاصله مربوط به شرایط نحوه بکارگیری ساقه پنبه بدون پوست، درجه حرارت پخت ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۵۰ دقیقه می‌باشد که برابر با  $27/80\%$  و در گروه‌بندی الفبایی دانکن در گروه (J) قرار می‌گیرند.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری عدد کاپای خمیر بدست آمده نشان می‌دهد که بیشترین میزان عدد کاپا مربوط به شرایط تهیه نحوه بکارگیری ساقه پنبه با پوست، درجه حرارت پخت ۱۴۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۳۰ دقیقه است که برابر با  $114/7$  می‌باشد و در گروه‌بندی الفبایی دانکن در گروه (A) قرار می‌گیرند. کمترین میزان عدد کاپا مربوط به شرایط تهیه نحوه بکارگیری ساقه بدون پوست، درجه حرارت پخت ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۵۰ دقیقه است که برابر با  $64/32$  می‌باشد و در گروه‌بندی الفبایی دانکن در گروه (J) قرار می‌گیرد.

با توجه به نتایج بدست آمده در خصوص بازده و عدد کاپا خمیر کاغذ بدست آمده از ساقه پنبه می‌توان اظهار کرد که در دماهای پایین تر و زمان کمتر بازده و عدد کاپا هر دو میزان بیشتری را نشان می‌دهند که این محدوده به علت عدد کاپای بالاتر نمی‌تواند مورد قبول باشد. در دماهای بالاتر و زمان طولانی تر نیز بازده و عدد کاپا هر دو میزان کمتری را نشان می‌دهند که این محدوده نیز به علت داشتن بازده پایین نمی‌تواند مورد قبول باشد. بنابراین شرایط تهیه نحوه بکارگیری ساقه پنبه بدون پوست، دمای پخت ۱۶۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۴۰ دقیقه پیشنهاد می‌گردد.

**منابع مورد استفاده :**

- ۱- اسموک، گری، ۱۳۷۴، تکنولوژی خمیر و کاغذ، ترجمه سید احمد میرشکرائی، انتشارات پیام نور.
- ۲- ایزد یار، ع. ۱۳۷۷. بررسی مناسب ترین شرایط خمیر کاغذ سازی (پخت) سودا برای ساقه آفتاب گردان منطقه گرگان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.
- ۳- بصیری، ع، ۱۳۶۲، طرح‌های آماری در علوم کشاورزی، انتشارات دانشگاه شیراز.
- ۴- بکارگیری منابع غیر چوبی در تولید کاغذ، ۱۳۶۹، مجله کیمیا، سال سوم، فروردین ۶۹، شماره ۳.
- ۵- پارسا پزوه، داوود. ۱۳۶۷. تکنولوژی چوب. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۶- جهان لیبیاری، ا. حسین زاده، ع. ۱۳۷۳. تکنولوژی تولید خمیر کاغذ، فرایندهای قلیائی. موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع. وزارت جهاد کشاورزی.
- ۷- جهان لیبیاری، ا. و همکاران. ۱۳۷۵. بررسی ویژگی‌های کاغذسازی ذرت دانه‌ای. مجله پژوهش و سازندگی ش ۳۲. وزارت جهاد کشاورزی.
- ۸- خجسته، عسگر. ۱۳۷۱. روش تولید کاغذ روزنامه در هندوستان. مجله کیمیا. سال پنجم. فروردین ۷۱ شماره ۱.
- ۹- روح نیا، م. ۱۳۷۷. تولید خمیر کاغذ از پوست دانه آفتاب گردان به روش سودا. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.
- ۱۰- سلیمانی، پ. ۱۳۵۵. بررسی بیومتریکی الیاف منابع لیگنوسلولزیک ایران از نظر کاغذسازی. نشریه دانشکده منابع طبیعی ش ۳۳. دانشگاه تهران.
- ۱۱- سروش، ص. ۱۳۸۳. بررسی تأثیر استفاده از خمیر کاغذ سودای ساقه پنبه بر کیفیت حاصل از خمیر بازیافتی کاغذهای بسته‌بندی باطله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.

- ۱۲- شفیع زاده، ف. ۱۳۷۸. بررسی امکان استفاده از خمیر سودا و NSSC ساقه پنبه برای تولید کاغذ فلوتینگ در صنایع چوب و کاغذ مازندران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۱۳- شکوئی، م. ۱۳۷۶. بررسی مقایسه ای کاربرد دو فرایند سودا و کرافت در پخت ساقه پنبه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.
- ۱۴- کهل، آر، جی. لوئیس، سی، اف. مترجم ناصری، ف. ۱۳۷۴. پنبه. انتشارات آستان قدس رضوی. معاونت فرهنگی.
- ۱۵- کاشانی، پ. ۱۳۷۶. بررسی مقاومت‌های کاغذ ساخته شده از کاه گندم و کلش برنج به روش سودای سرد. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.
- ۱۶- میر شکرانی، احمد. مبانی و کاربردهای شیمی چوب. مرکز نشر دانشگاه تهران.
- ۱۷- یونسی، م. ۱۳۷۸. بررسی مناسب ترین شرایط تهیه خمیر آلفا سلولوز از ضایعات پارچه‌های پنبه‌ای برای ساخت کاغذ. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی گرگان.
- ۱۸- یعقوب زاده، ن. ۱۳۵۵. بررسی مهمترین منابع لیگنوسلولوزی ایران و ارزشیابی فنی آنها جهت خمیر کاغذ و مقوا. نشریه دانشکده منابع طبیعی ش ۳۴. دانشگاه تهران.
- 19- Alcaide, L.J.; Baldavin, F.L; Pedrajad C.M. 1992. "The influence of agricultural residue. Cooking conditions on pulp and sheet paper properties". Cellulose, carta vol.43, No, 3, may-June 1993, pp 66-72.
- 20- Assumpcao, R.M.V. 1991. Nonwood fiber utilization in pulping and papermaking activities. Paper presented at 1991 pulping conference held 3-7 Nov 1991 at Orlando, fl, USA, pp 493-504.
- 21- Atchison, i.E., 1987. Chapter II. "Pulp and paper manufacture." Volume 3. McGraw Hill.
- 22- Baharti, R. et al. 1996. Morphological and Mechanical pulping studies of India cotton stalk. Proceeding from the 1996 Tappi pulping conference. Nashville, Tennessee, pp. 149-255.

- 23-Casey. J;1980. "Pulp and paper chemistry and chemical technology." Vol 1. Willy interscience publication.
- 24-Chen, ke-li, kunio tosaka and jisuke hayashi. 1994. " Alkali-oxygen pulping of rice straw: two- stage pulping by alkali soaking and oxygen cooking." Journal vol 77, No 1 July 1994.
- 25- Goyal, S, R. and A, K, Ray. 1991 . Economic comparison of soda and soda-AQ pulping processes for cereal straw. Nonwood plant fiber pulping . progress report No. 19. PP: 247.
- 26-Hunter, A, M.1989. "Some economic consideration in the implementation of a non wood pulp and paper project." Paper presented at 1989 pulping conference: Book 2 , held 22-25 oct. pp 677-690.
- 27-Hunter, A,M.1991. "Utilization of annual plants and agricultural for the production of pulp and paper- non wood plant fiber pulping." Pr. Nd. 19 – Tappi Press.
- 28- Jahan, M, S. 2003. Chenges of paper properties of nonwood pulp on recycling , Tappi journal, july 2003. vol, 2.
- 29-Jeyasinga, J. 1990. " Non-wood fibers Red in news print furnishes can expand." Pulp pap. Int vol 32, No. 4 .Apr. pp 89-92.
- 30-Jimenez , L. Lopez, F. 1993 . Characterization of paper sheets from agricultural residues. Wood sience and technology. 27, pp: 468-474.
- 31-Kilpiner, O. 1991. " Quality and shipping requirements for purchased non-wood raw fibers." Paper presented at 1991. pulping conference held 3-7 Nov. 1991 at Orlando, fl, USA, pp 61-72
- 32- Mona, ali. Byrd, Jr and Jameel, H. 2001. Soda-AQ pulping of cotton stalks. Presented at the 2001 Tappi pulping conference.