فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۲۶، شمارهٔ ٤، صفحهٔ ٦٤٦-٦٣٤، (۱۳۹۰)

بررسی ساخت خمیرکاغذ شیمیایی – مکانیکی رنگ‌بری شده از کاه‌گندم

احمد جهان لتیباری*

*- مسئول مکاتبات، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج
پست الکترونیک: latibari_24@yahoo.com

تاریخ دریافت : تیر ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۰

چکیده

این بررسی با هدف تولید خمیرکاغذ قابل رنگبری از کاه‌گندم انجام گرفته است. بدین منظور با تغییر مقدار قلیاییت فعال (NaOH) در چهار سطح ۱۰، ۱۲، ١٤ و١٦ درصد (برمبنای وزن خشک کاه‌گندم) و دو زمان پخت ۲۰ و٤٠ دقیقه خمیرکاغذ تهیه شده است. دمای پخت در ۹۵ درجه سانتی‌گراد ثابت در نظر گرفته شده است. بازده بعد از پخت خمیرکاغذها بین ٦٤/٦ درصد تا ۷۱/۷ درصد و بازده کل بعد از جداسازی الیاف بین ٥٤/٤٥ درصد تا ٦٢ درصد متغیر بوده است. درجه‌روانی اولیه خمیرکاغذها نیز بین ۷۰۸ تا ۷٦٥ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی تغییر کرده است. خمیرکاغذهایی که با قلیاییت فعال ۱۰ تا ١٦ درصد و زمان پخت٤٠ دقیقه‌ای تهیه شده‌اند تا درجه‌روانی حدود ۳٥۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی پالایش شدند و پس از آن ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز از آنها اندازه‌گیری شد. دانسیته کاغذ بین ٤۳۷ تا ٤۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب، شاخص مقاومت به پاره شدن بین ٦/٥۱ تا ۷/۱۱ $mN.m^2/g$ و شاخص مقاومت به کشش بین ٥٦/۲ تا ٦۰/۰٥ N.m/g اندازه‌گیری شد. با توجه به این که اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۹ درصد بین ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای حاصل مشاهده نشد، لذا خمیرکاغذ ساخته شده با ۱۰ درصد قلیاییت فعال (NaOH)، ٤۰ دقیقه زمان پخت و ۹٥ درجه دمای پخت جهت رنگبری انتخاب شد. رنگبری خمیرکاغذ با روش کاملاً بدون کلر (TCF) انجام گرفت. در روش رنگبری یک مرحله‌ای TCF، استفاده از ٤ درصد پروکسید هیدروژن و ۳/٥ درصد هیدروکسید سدیم، زمان ۲ ساعت، سیلیکات سدیم ۳ درصد و سولفات منیزیم معادل ۰/٥ درصد و ۰/۳ درصد DTPA وزن خشک خمیرکاغذ قبل از رنگبری، روشنی خمیرکاغذ را به ٥۰/٦۹ درصد (روشنی خمیرکاغذ قبل از رنگبری۲۹/۲ درصد بوده است) افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: کاه‌گندم، خمیرکاغذ شیمیایی – مکانیکی، بازده، مقاومت کاغذ، رنگبری کاملاً بدون کلر.

مقدمه

در سال‌های اخیر تقاضا برای خمیرکاغذ و کاغذ در بسیاری از کشورهایی که حتی با کمبود منابع جنگلی و چوبی مواجه هستند افزایش چشمگیری پیدا کرده است و پیش‌بینی می‌شود که مصرف جهانی کاغذ از ۳۰۰ میلیون تن در سال ۱۹۹۸ به حدود ٤۲٥ میلیون تن در سال ۲۰۱٤ خواهد رسید (FAO، ۲۰۰۹). از طرف دیگر با افزایش جمعیت، فشار بر جنگل‌ها و سایر منابع ماده اولیه چوبی افزایش خواهد یافت و باعث تخریب این مناطق حیاتی خواهد شد. لذا به دلیل منابع محدود جنگلی و به تحلیل

رفتن آن، وابسته بودن به منابع موجود برای تولید کاغذ و خمیرکاغذ منطقی به نظر نمی‌رسد. لاجرم با توجه به تقاضای بازار و فشارهای زیست محیطی، منابع تامین ماده اولیه صنایع خمیرکاغذ از چوب به مواد غیر چوبی و پسماندهای کشاورزی گرایش پیدا کرده است (Atchinson، ۱۹۹۸).

علاقه‌مندی روزافزون به استفاده از منابع الیاف غیرچوبی به ویژه پسماندهای کشاورزی در ساخت خمیرکاغذ موجب توسعه و گسترش تحقیقات در اقصی نقاط دنیا در جهت دستیابی به فرآیندهای مناسب خمیرکاغذسازی از این منابع مهم شده است. این تحقیقات گستره وسیعی از منابع الیاف غیرچوبی را تحت پوشش قرار داده است.

کاشانی (۱۳۷٦) تولید خمیرکاغذ با روش سودای سرد از کاه‌گندم و کلش‌برنج را بررسی کرده است. مرادیان (۱۳۸۱)، در تحقیقی، با هدف بررسی شرایط و ویژگی‌های کاغذ ساخته شده به روش CMP از کاه‌گندم، پخت‌هایی با استفاده از دو ماده شیمیایی هیدروکسید سدیم خالص و مخلوط سولفیت سدیم و کربنات سدیم به نسبت دو به یک در سه سطح ٦، ۸ و ۱۰ درصد و ۳ سطح زمانی ۲۰، ۳۰ و٤۰ دقیقه، در دمای ۹۸-۹۵ درجه سانتی‌گراد، فشار معمولی و نسبت مایع پخت به کاه ۱۰ به ۱ انجام داد. بازده خمیرکاغذ پخت‌های سولفیت سدیم – کربنات سدیم در دامنه ۸۸/۸-۸٦ درصد، وازده روی الک ۹/۷-۱/٦ درصد و مصرف انرژی پالایش آن بیشتر از خمیرکاغذهای به‌دست آمده از پخت‌های با هیدروکسید سدیم با دامنه بازده ۸۲/۳۳-۷۲/۲ درصد و وازده الک ۳/۸-۰/۱٤ درصد بود. سراییان (۱۳۸۲)، امکان تولید خمیرکاغذ به روش مکانیکی پروکسید قلیایی (APMP) از کاه‌گندم خراسان را مورد بررسی قرار داد.

اما گسترده‌ترین و متداول‌ترین فرایند خمیرکاغذسازی از کاه‌گندم، فرایند سودا است. دو ماده شیمیایی اصلی مورد استفاده در این فرآیند، هیدروکسید سدیم و کربنات سدیم است. ولی اغلب اکسیژن یا آنتراکینون نیز به مایع پخت افزوده می‌شود و دما معمولاً بین ۱٤۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد است.

لاتروپ (۱۹۷۱)، خصوصیات پالایش‌پذیری و مقاومت‌های خمیرکاغذ سودا از ۵ نوع پسماند محصولات کشاورزی از جمله کاه‌گندم را با خمیرکاغذ از چند گونه چوبی مقایسه نموده است. در این بررسی برای انجام آزمایش‌ها از تجهیزات یکسان استفاده شد. خمیرکاغذهای تهیه شده از پسماند محصولات کشاورزی از نظر تمام خصوصیات مقاومتی به جز مقاومت در برابر پاره شدن از خمیرکاغذ از چوب مطلوب‌تر بودند. خمیرکاغذ سودا از کاه‌گندم در مقایسه با همه گونه‌های چوبی و غیر چوبی مورد بررسی از خصوصیات مقاومتی بهتری برخوردار بود. خمیرکاغذ کاه‌گندم نسبت به خمیرکاغذ سولفیت سوزنی‌برگان به پالایش کمتر نیاز داشت.

اراواموتان و یاین (۱۹۹۲)، بهینه‌سازی پخت کاه‌گندم با استفاده از کربنات‌سدیم – هیدروکسیدسدیم (NaOH-Na_2CO_3)، را مورد بررسی قرار دادند. بازده خمیرکاغذ تولیدی، متناسب با زمان و دیگر شرایط، بین ٥٦ تا ٦۲ درصد متغیر بود و افزایش کربنات‌سدیم، زمان‌پخت را کاهش داده است. کاو و لی (۱۹۹٦) در بررسی‌های خود متوجه شدند که افزودن ۱ درصد آنتراکینون (AQ) به مایع پخت سودا، مصرف قلیا را تا ۳٤ درصد کاهش داده و عددکاپا را تا ۲۰ واحد پایین می‌آورد. در مقابل، در صورت افزودن ۳ درصد پروکسیدهیدروژن، مصرف قلیا

۲۵ درصد افزایش یافته و اثری بر لیگنین‌زدایی نداشته است. از طرفی با افزودن AQ، گزینندگی در لیگنین زدایی بیشتر می‌شود.

مکین و ژاکوب (۱۹۹۷)، ساقه‌گندم واریته Madison ایالات متحده را پس از پیش بخاردهی، تحت تأثیر روش سودا – آنتراکینون در دو فاز مایع و گاز قرار دادند و نتیجه گرفتند که تحت شرایط سودا - آنتراکینون، خمیرکاغذهای قابل رنگبری در عددکاپای ۱۲-۱۰ و بازده حدود ٤٤ درصد تولید می‌شود. همچنین مقاومت به کشش و مقاومت به پاره شدن کاغذ ساخته شده از خمیرکاغذ کاه کاملاً رنگبری شده مناسب کاغذ ظریف و برای ساخت خمیرکاغذ از کاه‌گندم، فرایند کرافت چندان مورد استقبال قرار نمی‌گیرد. جیسینگام (۱۹۸۸) بیان می‌کند که ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذ کرافت از کاه تنها اندکی بهتر از آنهایی است که از فرایند سودا به‌دست می‌آیند. از طرفی در فرایند کرافت مواجه با هزینه اضافی مواد شیمیایی، مواد شیمیایی جبرانی و نیز آلودگی حاصل از ترکیبات گوگرد هستیم. فرایند سولفیت اسیدی به‌دلیل این که خمیرکاغذهایی با مقاومت کم تولید می‌کند، چندان برای کاغذسازی از کاه‌گندم مناسب نیست. در حالی که روش خمیرکاغذسازی سولفیت‌خنثی از روش‌های مناسب خمیرکاغذسازی از کاه‌گندم است. با این وجود، خمیرکاغذسازی NSSC از کاه‌گندم، پیچیده‌تر از خمیرکاغذسازی NSSC از چوب است. مشکل دیگر نیز این است که برخی کارخانجات نتوانسته‌اند که بازده مورد انتظار ۷۵-۷۰ درصد را به‌دست آورند و بازده خمیرکاغذسازی آنها، تنها ۵۸-۵۵ درصد بوده است. ولی علی و همکاران (۱۹۹۱)، دریافتند که فرایند ناپیوسته خمیرکاغذسازی به روش سولفیت خنثی از کاه‌گندم می‌تواند، خمیرکاغذ با بازده بالا و قابلیت رنگبری تهیه کند. بازده خمیرکاغذ، حتی بالاتر از فرایندهای کرافت یا سودا است.

کاپریتی و مارزیتی (۱۹۹۱)، تأثیر فرایند انفجاری با بخار آب را بر روی خواص خمیرکاغذ کاه‌گندم مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای انفجاری با بخار آب در مقیاس آزمایشگاهی، تحت شرایط دما، فشار و زمان متفاوت با پیش‌تیمار و یا بدون پیش‌تیمار انجام شد. خواص کاغذ از این خمیرکاغذها، مشابه یا در بعضی موارد، حتی بهتر از خواص خمیرکاغذهای به‌دست آمده به‌وسیله روش‌های ناپیوسته متداول بود. از طرف دیگر میزان زیاد نرمه خمیرکاغذهای کاه نقش مهمی در افزایش مقاومت ورقه داشت.

زائو و همکاران (۲۰۰۲)، از پیش‌تیمار آنزیم زایلاناز، بر روی کاه‌گندم قبل از پخت سودا، استفاده کردند. این آنزیم از محیط کشت قارچ باختگی *Aspergilus niger* به‌دست آمده است. این پیش‌تیمار توانست، قابلیت خمیرکاغذسازی کاه‌گندم را به طور موثری بهبود داده و خمیرکاغذهایی با عددکاپای پایین‌تر (۲ واحد کمتر)، تولید کند. همچنین وازده کمتر و بازده مشابه با خمیرکاغذهای سودای غربال شده (و تحت شرایط خمیرکاغذسازی معین) را به‌دنبال داشت. روشنی خمیرکاغذهای رنگبری شده از کاه‌گندم پیش‌تیمار شده با زایلاناز در حدود ۳ درصد ISO زیادتر از نمونه‌های شاهد، با استفاده از شرایط و توالی‌های رنگبری مشخص بودند. خمیرکاغذهای رنگبری نشده و رنگبری شده از کاه‌گندم پیش‌تیمار شده با زایلاناز، شاخص مقاومت به پاره‌شدن زیادتر و شاخص مقاومت به ترکیدن کمتر نسبت به نمونه‌های کنترل را دارا بودند.

در سال‌های اخیر با هدف بهره‌مندی از فرایندهای جدید پر بازده و امکان احداث واحدهای تولید خمیرکاغذ

در مقیاس کوچک‌تر، پژوهش‌هایی در زمینه فرایند مکانیکی پروکسید قلیایی (APMP) انجام گرفته است.

پن و لری (۲۰۰۰a) در بخش اول از تحقیقات دو مرحله‌ای خود، عوامل مؤثر برروشنی، مصرف پروکسید هیدروژن و بازده خمیرکاغذ مکانیکی پروکسید قلیایی (APMP) از کاه‌گندم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان قلیایی، روشنی خمیرکاغذ و مصرف پروکسید افزایش یافته و بازده خمیرکاغذ افت می‌کند. پن و لری (۲۰۰۰b) در بخش دوم بررسی خود اهمیت تثبیت پروکسید هیدروژن را در فرایند APMP از کاه‌گندم مورد بررسی قرار دادند. در این بخش از تحقیق، آنها فقط روشنی و پروکسید هیدروژن باقیمانده را اندازه‌گیری نمودند. از آنجایی که میزان فلزات واسطه مثل منگنز و آهن در کاه کم بوده و بالعکس میزان عناصری نظیر منیزیم، کلسیم و سیلیسیم زیاد می‌باشد، بنابراین پیش فرآوری‌هایی نظیر شستشوی اسیدی و یا آغشته‌سازی با عوامل خنثی کننده فلزی می‌تواند ضمن کاهش میزان فلزات واسطه، باعث بهبود روشنی و کاهش مصرف پروکسید شود.

موس تاجوکی و همکاران (۲۰۱۰) رنگبری با پروکسید قلیایی خمیرکاغذ از کاه پیش فراوری شده با آب داغ را ارزیابی کرده و ترتیب رنگبری $P\text{-}P\text{-}P_{aa}\text{-}P$ را مناسب می‌داند. نامبردگان با این استفاده از این ترتیب قادر به رنگبری خمیرکاغذ تا درجه روشنی ۷۵ درصد در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای یافتن سیستم‌های جدید خمیرکاغذسازی از مواد اولیه لیگنوسلولزی صورت گرفته است و استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست اهمیت یافته است. بنابراین با توجه به کمبود منابع چوبی در ایران، پتانسیل کاه‌گندم به عنوان یک ماده اولیه لیگنوسلولزی غیرچوبی برای تولید کاغذ با استفاده از یک روش ساده مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بررسی با هدف تولید خمیرکاغذ رنگبری شده از کاه‌گندم که بتواند در مقیاس تولیدی کوچک مورد استفاده قرار گیرد و بتوان از خمیرکاغذ در ساخت کاغذ روزنامه و چاپ و تحریر استفاده کرد انجام می‌گیرد.

مواد و روشها

مواد اولیه

ساقه گندم مورد نیاز این بررسی از مزارع کشت گندم در شهرستان کرج تهیه و به دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی (کرج)، آزمایشگاه گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ منتقل شد. پس از جداسازی برگ و دانه‌ها، ساقه‌ها به قطعاتی به طول ۲ تا ۳ سانتیمتر خرد شدند. کاه خردشده کاملاً با هم مخلوط شده و در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شد.

تهیه خمیر کاغذ

در این تحقیق از روش پخت CMF (فرایند شیمیایی مکانیکی) با استفاده از هیدروکسید سدیم در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است. از چهار مقدار NaOH؛ ۱۰، ۱۲، ۱٤ و ۱٦ درصد (بر مبنای وزن خشک کاه) و سه زمان پخت (۲۰، ۳۰ و ٤۰ در ۲ تکرار و با استفاده از دایجستر آزمایشگاهی انجام گرفت. برای پخت‌ها، از ۱۰۰ گرم کاه (مبنای وزن خشک) و نسبت مایع پخت به کاه معادل ۱: ۸ استفاده شد. پس از پایان هر پخت، pH و قلیایی باقیمانده مایع پخت سیاه با روش تیتراسیون توسط اسید کلریدریک اندازه‌گیری شد. بعد از هر پخت، جداسازی الیاف کاه پخته شده با استفاده از پالایشگر آزمایشگاهی انجام شد.

در پایان مرحله جداسازی الیاف، ابتدا به وسیله دو الک با اندازه سوراخ‌های ۱۴ و ۲۰۰ مش، ذرات وازده (Reject) از الیاف خمیر کاغذ قابل قبول (Accept) جدا شد. ذرات باقیمانده بر روی الک ۱۴ جزء وازده و الیاف باقیمانده بر روی الک ۲۰۰ جزء خمیر کاغذ قابل قبول (Accept) هستند. از مجموع وازده و بازده قابل قبول خمیر کاغذ، بازده کل خمیر کاغذ پالایش شده به‌دست آمد.

ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی

ساخت کاغذ دست‌ساز و تعیین ویژگی‌های آن طبق دستورالعمل های آیی‌ن نامه TAPPI به شرح زیر انجام گرفته است.

درجه‌روانی خمیر کاغذ: T 227 om-04؛ ساخت کاغذ دست‌ساز: T 205 sp -06؛ جرم پایه کاغذ: T410 om-08؛ شاخص مقاومت به پاره شدن: T 414 om-04؛ مقاومت کاغذ در برابر ترکیدن: T403 om-02؛ مقاومت به کشش : T494 om-06؛ روشنی خمیر کاغذ: T452 om-08؛ ماتی کاغذ: T425 om-06.

پس از انجام پخت‌ها و سنجش تاثیر مواد شیمیایی و زمان بر ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از کاه‌گندم، خمیر کاغذ بهینه با شرایط دمایی ۹۵°C، ۴۰ دقیقه زمان پخت و ۱۰ درصد NaOH مواد شیمیایی، انتخاب گردید. از این خمیر کاغذ با شرایط مذکور به مقدار کافی خمیر کاغذ تهیه شد وارد توالی رنگبری TCF گردید.

آزمایش‌های رنگ‌بری

مرحله کی لیت کردن (Q)

جهت عملیات کی لیت کردن و کمپلکس کردن فلزات واسطه؛ ۱۰ گرم خمیرکاغذ در درصد خشکی سه درصد، pH برابر۵ و ۰/۳ درصد دی اتیلن تری آمین پنتا استیک اسید (DTPA) به عنوان کمپلکس ساز، در کیسه‌های سر بسته پلی اتیلنی در حمام آبی ۷۰ درجه سانتی گراد همراه با مالش به مدت ۳۰ دقیقه انجام گردید. پس از طی زمان فرآوری خمیر کاغذ کی‌لیت شده با آب یون زدایی شده با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد شستشو داده شد.

تعیین نسبت بهینه پروکسید هیدروژن / هیدروکسید سدیم

جهت تعیین نسبت بهینه پروکسید هیدروژن/ هیدروکسید سدیم و دستیابی به زیادترین میزان روشنی در خمیرکاغذ به شرح زیر عمل گردید:

شرایط ثابت :۱۰ گرم خمیر کاغذ خشک با درصد خشکی ۱۰ درصد، ۰/۳ درصد وزن خمیرکاغذ DTPA ، ۳ درصد وزن خمیرکاغذ سیلیکات سدیم، ۰/۵ درصد وزن خمیرکاغذ سولفات منیزیم، ۱۲۰ دقیقه زمان و دمای ۷۰ و ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد.

شرایط متغییر: میزان هیدروکسید سدیم: ۲، ۳ و ٤ درصد، میزان پروکسید هیدروژن: ۳، ۳/۵ و ٤ درصد انتخاب گردید.

رنگبری در کیسه‌های پلی‌اتیلن انجام گرفت و در حین رنگبری از مالش‌دهی دستی برای اختلاط مواد شیمیایی و خمیرکاغذ استفاده شد. در پایان رنگبری، شستشوی خمیر کاغذ انجام گرفت و pH آن توسط اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال به حد خنثی رسانده شد. سپس از هریک از خمیر کاغذهای رنگ بری شده، کاغذهای دست‌ساز تهیه گردید سنجش میزان روشنی، ماتی انجام گرفت.

آنالیز مواد شیمیایی باقی مانده در خمیر کاغذ رنگ بری شده طبق دستور العمل پیشنهادی جهان لتیباری (۱۳۸۹) انجام گرفته است.

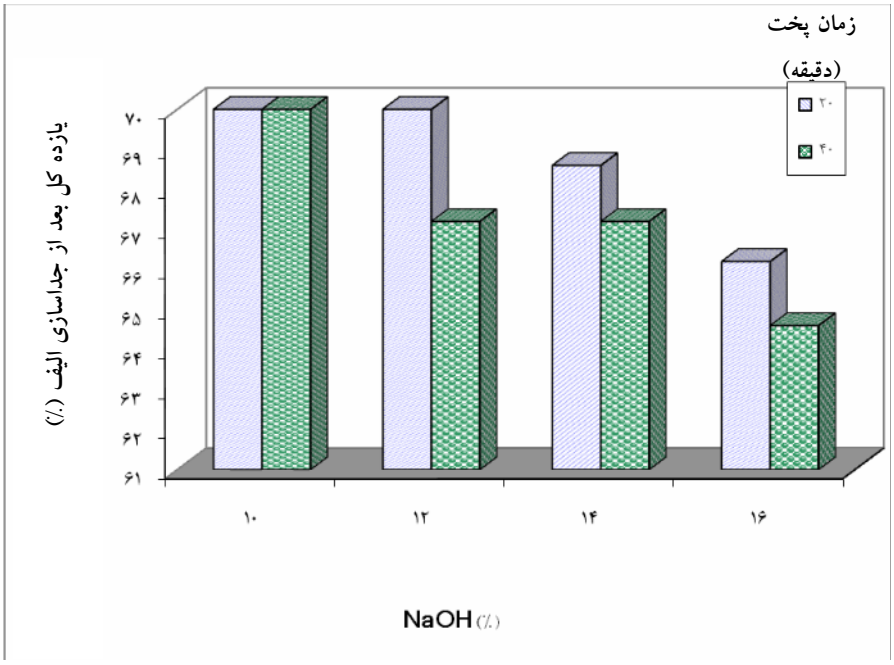
تجزیه و تحلیل اطلاعات

تحلیل آماری نتایج به‌دست آمده بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد.

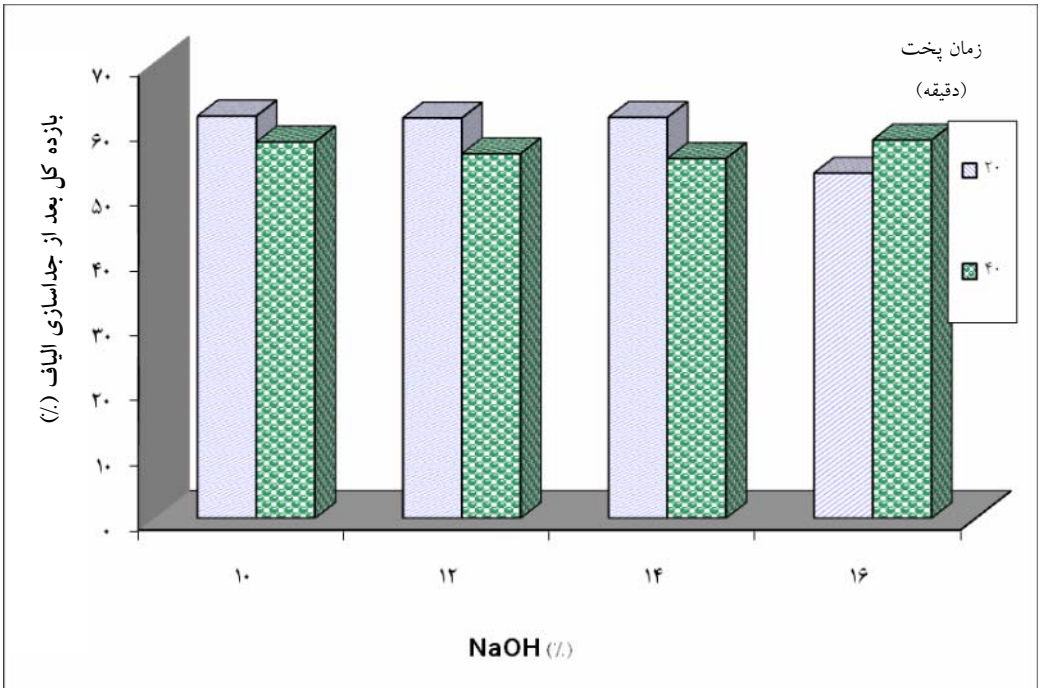
نتایج

پخت و ارزیابی ویژگی های‌خمیرکاغذ

اصولاً در پخت خمیرکاغذ با روش شیمیایی از دمای حدود ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌شود. در این دما محفظه پخت تحت فشار زیاد بوده و بنابراین به تجهیزات گران قیمت‌تری نیاز است. بنابراین استفاده از آن در مقیاس کوچک از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نخواهد بود. در این بررسی از دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شده و با تغییر میزان مصرف هیدروکسید سدیم سعی در تولید خمیرکاغذهای کم بازده‌تر در مقایسه با خمیرکاغذهای شیمیایی – مکانیکی متداول ولی با ویژگی‌های مناسب از نقطه نظر بازده و ویژگی‌های مقاومتی شده است. نتایج پخت‌های سودا با تغییر میزان قلیایی و زمان پخت در شکل‌های ۱ و ۲ خلاصه شده است.



شکل ۱- تأثیر مقدار قلیایی و زمان پخت بر بازده بعد از پخت خمیرکاغذ



شکل ۲- تأثیر مقدار قلیایی و زمان پخت بر بازده کل بعد از جداسازی الیاف

با توجه به این که مصرف قلیایی در پخت‌های با زمان‌های مختلف تفاوت زیادی نداشته و تقریباً یکسان است، به علاوه با توجه به این که در دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در صورت کوتاه بودن زمان پخت، نرم شدن ماده اولیه به خوبی انجام نمی‌گیرد، بنابراین بهتر است از زمان طولانی‌تری برای پخت استفاده شود. در این بررسی خمیرکاغذهای تهیه شده با قلیایی‌های مختلف (بین ۱۰ تا ۱٦ درصد بر مبنای وزن خشک کاه) و زمان پخت ٤٠ دقیقه‌ای جهت ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی انتخاب شدند. جدول شماره یک نشان می‌دهد که بازده بعد از پخت این خمیرکاغذ مشابه خمیرکاغذهای با زمان پخت کوتاه‌تر است، ولی بازده کل بعد از جداسازی الیاف آنها کمتر از خمیرکاغذهای با زمان پخت ۲۰ دقیقه می‌باشد. با توجه به این که بخشی از خمیرکاغذهای ساخته شده با زمان ٤٠ دقیقه به صورت نرمه‌ها به همراه آب از الیاف جدا شده‌اند، این نرمه‌ها در پخت در مقیاس صنعتی که از آب برگشتی در سیستم شستشو استفاده مجدد می‌کنند به سیستم برمی‌گردند، بنابراین در مقیاس صنعتی به بازده زیادتری دست خواهیم یافت. نتایج ویژگی‌های مقاومتی و روشنی خمیرکاغذهای انتخاب شده در جدول ۱ خلاصه شده است.

تجزیه و تحلیل آماری تأثیر مقدار قلیا بر روی ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و نوری خمیرکاغذ شیمیایی – مکانیکی کم بازده از کاه‌گندم نشان داد که تأثیر مقدار قلیا بر شاخص مقاومت به کشش معنی‌دار نیست و تأثیر آن بر شاخص مقاومت به پاره شدن در سطح اعتماد آماری ۹۱ درصد معنی‌دار شده است که نشان دهنده تأثیر تخریبی کمتر قلیا بر ساختار الیاف است. تأثیر مقدار قلیا بر دانسیته کاغذ دست‌ساز در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد و تأثیر آن بر روشنی خمیرکاغذ در سطح ۹۱ درصد معنی‌دار شده است.

جدول ۱- ویژگی های مقاومتی و نوری‌خمیرکاغذ شیمیایی – مکانیکی

(شرایط ثابت: دما: ۹۵ درجه سانتی(دقیقه ٤۰ :گراد؛ زمان

قلیایی (NaOH) (٪)	درجه‌روانی mlCSF			جرم پایه g/m^2	ضخامت µm	دانسیته kg/m^3	شاخص مقاومت به پاره شدن $mN.m^2/g$	شاخص مقاومت به کشش N.m/g	روشنی (٪)
	قبل از پالایش	تعداد دور PFI	بعد از پالایش						
۱۰	۷۹۰	۱۰۰۰	۳٦۵	٦٤/۳	۱٤٦/۱	٤٤۰	٦/۵۱	۵٦/۵	۲۹/۲
۱۲	۷۵۵	۱۰۰۰	۳٦۷	٦۱/۵	۱٤۳/۵	٤۳۰	٦/۸٦	۵۸	۲۸/٤
۱٤	۷۷۲	۱۰۰۰	۳۸٤	٦٤/۷	۱٤۸	٤۳۷	۷/۱۱	٦۰/۰۵	۲۹/۳
۱٦	۷۰۸	٤٦۰	۳٤۳	٦۳/۳	۱۲۹/۵	٤۸۹	٦/۹۷	۵٦/۲	۳۰/۸

رنگبری با روش کاملاً بدون کلر[1]

پس از ارزیابی خمیرکاغذها و تجزیه و تحلیل آماری نتایج، با توجه به این که اختلاف معنی‌دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد بین میانگین ویژگی‌های مقاومتی خمیرکاغذها که در شرایط ثابت ٤۰ دقیقه زمان پخت و مقادیر مختلف قلیا مشاهده نشد، ولی بازده خمیرکاغذهای تهیه شده با مصرف ۱۰ درصد هیدروکسید سدیم زیادتر از سایر پخت‌ها بود (شکل ۱)، لذا این خمیرکاغذ جهت رنگبری با روش کاملاً بدون کلر انتخاب گردید. مقدار بیشتری خمیرکاغذ با اعمال این شرایط پخت تهیه گردید. بازده کل بعد از جداسازی الیاف این خمیرکاغذ معادل ۵۵/۹ درصد اندازه‌گیری شد.

نتایج رنگبری کاملاً بدون کلر خمیرکاغذ که در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و در یک مرحله انجام گرفته است در جدول ۳ خلاصه شده است. همان طوری که از این جدول مشخص است در اثر رنگبری با پروکسید هیدروژن در محیط قلیایی عدد کاپا کاهش یافته و روشنی خمیرکاغذ از مقدار اولیه ۲۹/۲ درصد به حداکثر ۵۰/٦۹ درصد در شرایط استفاده از ٤ درصد پروکسید هیدروژن و ۳/۵ درصد هیدروکسید سدیم افزایش یافته است. با وجودی که در اثر رنگبری با پروکسید هیدروژن زردی خمیرکاغذ کاهش یافت، ولی به علت وجود رنگدانه‌های زرد در خمیرکاغذ کاه‌گندم، کاهش زردی قابل توجه نبود و بعد از تیمار رنگبری با پروکسید هیدروژن خمیرکاغذ کماکان رنگ زرد خود را حفظ کرده است. در چنین شرایطی استفاده از یک مرحله فراوری با هیدروسولفیت سدیم جهت حذف رنگدانه‌های زرد ضروری می‌باشد. به علاوه در اثر رنگبری با پروکسید هیدروژن ماتی خمیرکاغذها کاهش یافته است. با وجودی که میزان مصرف پروکسید هیدروژن تا ۵ درصد افزایش داده شده است ولی افزایش بیشتر روشنی میسر نگردید.

1 - Totally Chlorine Free

جدول ۳- شرایط رنگبری کاملاً بدون کلر و ویژگی های نوری و مقاومتی‌خمیرکاغذرنگبری شده

H_2O_2 (٪)	NaOH (٪)	عدد کاپا	H_2O_2 باقیمانده (٪)	NaOH باقیمانده (٪)	روشنی (٪)	زردی (٪)	ماتی (٪)	شاخص مقاومت به کشش (N.m/g)	شاخص مقاومت به پاره شدن ($mN.m^2/g$)	شاخص مقاومت به ترکیدن ($kPa.m^2/g$)
۳	۲	٤٧/٤	۰/١٤١	١/۰٣	٤٥/٢٤	٤٦/٣٧	٧٦/١٣	٤٣/٦	۹/٥	٢/٢٣
۳	٢/٥	٤٥/٢	۰/٢۰٤	١/٤٦	٤٣/١٧	٤٩/٤٣	٧٧/۰٤	٤۰/٢	٨/٩٣	٢/٦٩
۳	۳	٥۰	۰/٢۰٩	١/٨٢	٤٧/٧٩	٤٥/٦٨	٧٥/٩٢	٣٩/١	۹/۰٤	٢/٧٣
٤	۲	٤٥/٨	۰/٣٧	١/۰٢	٤١/٧٨	٥۰/٦٩	٧٧/٤٨	٣٧/٥	۹/٥٤	٢/٨٦
٤	٢/٥	٤٧/٩	۰/١٨٤	١/٥٤	٤٥/٥٨	٤٧/١٦	٧٦/٤٧	٤٤/٧	١۰/٢٤	٢/٦٤
٤	۳	٤۰/٤	۰/١٩٧	١/٤٤	٤٧/۰٢	٤٦/٢٤	٧٦	٤٣/٣	۹/٥٥	٢/٧٢
٤	٣/٥	٣٨/٣	۰/١٦١	١/٩	٥۰/٦٩	٤٢/٨٥	٧٦/٧٦	٣٣/٣	۹/٩٧	٢/٧٢
٥	۳	٣٩/٧	۰/٢٢٦	١/٤٤	٤٨/٦٩	٤٢/٦٥	٧٦/٦٦	٣١/١	۹/٧٤	٣/۰١
٥	٣/٥	٣٨/٢	۰/٢٧٩	١/٨٨	٤٦/١٩	٤٦/٦٧	٧٧/٢٧	٣٧/٤	١۰/٥	٢/٥٧
٥	٤	٣٨/٤	۰/٢١	٢/٢٧	٤٦/٤٤	٤٦/٢٢	٧٦/٥	٤١/٥	۹/٩٧	٢/٤٩
٥	٤/٥	٣٧/٦	۰/١٧١	٢/٣٩	٤٦/٣٧	٤٦/٣٦	٧٧/١٣	٣۰/٨	۹/٤٧	٣/٢٣

(دما: ۷۰ درجه سانتی$MgSO_4$ درصد؛ ۳ :ساعت؛ سیلیکات سدیم ۲درصد با زمان ۱۰گراد؛ درصد خشکی : ۰/۵ درصد؛ **DTPA**: ۰/۳ درصد)

بحث

در این بررسی ساخت خمیرکاغذ قابل رنگبری با روشی ساده که بتوان در مقیاس کوچک تولید کرد مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به این که هدف این تحقیق توسعه روشی برای تولید خمیرکاغذ سفید و قابل استفاده در کاغذ چاپ و تحریر و کاغذ روزنامه بوده است لذا از دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد که در این دما سیستم پخت تحت فشار نمی‌باشد و از تجهیزات ساده‌تری استفاده می‌گردد بهره‌گیری شده و سعی شده است در شرایط مصرف هیدروکسید سدیم کمتر ولی زمان پخت طولانی‌تر بتوان به نتیجه مطلوب دست یافت. بدین منظور از هیدروکسید سدیم به میزان ۱۰ تا ۱٦ درصد وزن خشک کاه‌گندم و زمان پخت ۲۰ و ٤۰ دقیقه استفاده شد و بازده خمیرکاغذ تعیین شد.

با اعمال زمان پخت ٤۰ دقیقه، ۱۰ درصد هیدروکسید سدیم و ۹۵ درجه سانتی‌گراد دمای پخت به بازده بعد از پخت ۷۲/۲ درصد و بازده بعد از جداسازی الیاف ۵۸ درصد رسیده‌ایم که برای هدف مورد نظر مطلوب می‌باشد. البته ذکر این نکته ضروری است که در مقیاس صنعتی در اثر گردش آب در سیستم، حذف نرمه‌ها کمتر بوده و بازده بعد از جداسازی الیاف زیادتر می‌شود. با توجه به این که قلیایی باقیمانده معادل ٤/۱۵ درصد وزن خشک کاه بود می‌توان نتیجه گرفت که با مصرف حدود ٦ درصد هیدروکسید سدیم می‌توان خمیرکاغذ مناسبی تولید کرد. درجه‌روانی این خمیرکاغذ با استفاده از پالایشگر PFI و پس از ۱۰۰۰ دور از مقدار اولیه ۷۹۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی به ۳٦۵ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی کاهش یافته است. دانسیته کاغذ از خمیرکاغذ پالایش شده ٤٤۰ کیلوگرم بر مترمکعب و شاخص مقاومت به پاره شدن و شاخص مقاومت به کشش به ترتیب ۵٦/۵N.m/g، ٦/۵۱mN.m^2/g اندازه‌گیری شد.

Petit-Conil و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از فرایند Bi-Vis و استفاده از ٦/٦ درصد NaOH به بازده ٦٦ درصد رسیده‌اند. ویژگی‌های مقاومتی این خمیرکاغذ شامل طول پاره شدن، شاخص مقاومت به ترکیدن و شاخص مقاومت به پاره شدن به ترتیب ۵٦۱۰ متر، ٤/٤٦kPa.m^2/g و ۳/۵mN.m^2/g اندازه‌گیری شده است. حجازی و همکاران (۲۰۰۹) ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا از کاه‌گندم که با استفاده از ۱٦ NaOH درصد و دمای ۱٦۰ درجه سانتی‌گراد تهیه کردند. در بازده ٤۵/۸ درصد شاخص مقاومت به ترکیدن، شاخص مقاومت به پاره شدن، شاخص مقاومت به کشش و روشنی به ترتیب ۳/۲kPa.m^2/g، ٤/٤mN.m^2/g، ٦۲N.m/g و ۲۹/۷ درصد را گزارش کرده‌اند.

خمیرکاغذ تهیه شده با اعمال ۱۰ درصد هیدروکسیدسدیم، ٤۰ دقیقه و ۹۵ درجه سانتی‌گراد زمان و دمای پخت، با استفاده از ترتیب رنگبری کاملاً بدون کلر که دوستدار محیط زیست است رنگبری شده و روشنی این خمیرکاغذ با تزریق ٤ درصد پروکسید هیدروژن و ۳/۵ درصد هیدروکسید سدیم از مقدار اولیه ۲۹/۱ درصد به ۵۰/٦۹ درصد افزایش یافته است. شاخص مقاومت به کشش، مقاومت به پاره شدن و مقاومت به ترکیدن آن به ترتیب ۳۳/۳N.m/g، ۹/۹۷mN.m^2/g و ۳/۰۱kPa.m^2/g اندازه‌گیری شده است.

موتساجوکی و همکاران (۲۰۱۰) ویژگی‌های خمیرکاغذ از کاه پیش فراوری شده با آب گرم که قبل از رنگبری با ٤ درصد NaOH فراوری شده است را در معرض رنگبری $P_1P_2PaaP_3$ قرار داده و با مصرف ٤/۲۵

درصد NaOH و ٦ درصد پروکسید هیدروژن در مراحل رنگبری به بازده ٥٤ درصد، روشنی ٨٤ درصد، شاخص مقاومت به پاره شدن ٣/٤mN.m^2/g و شاخص مقاومت به کشش ٥٠/٨N.m/g رسیده‌اند. Zhao و همکاران (٢٠٠٤) در فرایند ساخت خمیرکاغذ مکانیکی پروکسید قلیایی از کاه‌گندم با مصرف ٨ درصد NaOH و ٤ درصد H_2O_2 به بازده ٦٨/٢١ رسیده و ویژگی این خمیرکاغذ شامل روشنی، طول پاره شدن، شاخص مقاومت به ترکیدن و شاخص مقاومت به پاره شدن را به ترتیب ٤٥/٢ درصد، ٣٢١٠ متر، ١/٣kPa.m^2/g و ٤/٤mN.m^2/g اندازه‌گیری کرده‌اند.

از این خمیرکاغذ می‌توان به عنوان یکی از ترکیب‌های ساخت کاغذ روزنامه استفاده کرد. با توجه به این که رنگبری کاملاً بدون کلر از روش‌های آسان و دوستدار محیط زیست رنگبری می‌باشد لذا می‌توان از این روش در مقیاس کوچک استفاده کرد. البته به دلیل ماهیت کاه‌گندم و وجود رنگدانه‌های زرد، زردی پس از رنگبری خمیرکاغذ نسبتاً زیاد است که استفاده از یک مرحله رنگبری کاهنده ضروری می‌باشد.

نتایج این بررسی نشان داده است که می‌توان از کاه‌گندم و استفاده از روش ساده‌تری خمیرکاغذ قابل رنگبری تولید کرد.

منابع مورد استفاده

– کاشانی، پ، ١٣٧٦. بررسی مقاومت کاغذ ساخته شده از کاه‌گندم و کلش برنج به روش سودای سرد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
– جهان لتیباری، ا.، ١٣٨٩. فرایندهای مکانیکی تولید خمیرکاغذ، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران، ٦٠٩ ص.
– Aravamuthan, R.G. and Yayin, I., 1992. Optimization of caustic-carbonate pulping of wheat straw for corrugating medium. Tappi nonwood plant fiber pulping progress report, No. 21.
– Atchison, J., 1998. Twenty five years of global progress in nonwood plant fiber pulping. Tappi Journal Vol. 79., No. 10.
– Cai, J.; Dazhen, Z.; Wu, Y.; Weng, J.; Zhang, R. and Shen, Z., 1998. A preliminary study of organosolv pulping of wheat straw with acid. Acetate process. Nonwood fiber and papermaking conf. Beiging, China.
– Cao, B. and Lee, Z.Z., 1996. The effects of hydrogen peroxide and anthraquinone on soda ash pulping of wheat straw. Holzfurschung, Vol. 50, pp: 62-68.
– Cappelleti, G. and Marzetti, A., 1991. Steam explosion pulping of wheat straw, steam explosion techniques; Fundmental on industrial application, Focher, B., Marzetti, A. Philadelphia, p. 207.
– FAO statistics, 2010. www.faostat.com
– Hadjazi, S.; Kordsachia, O.; Jahan Latibari, A. and Tschirner, U., 2009. Alkaline sulfite/ anthraquinane (AS/AQ) pulping of wheat straw and totally chlorine free (TCF) bleaching of pulp. Industrial crops and products 24: 27-39
– Jahan Latibari, A.; Hedjazi, S.; Patt, R., Kordsachia, O. and Tschirner, U. 2006. Totally chlorine free (TCF) bleaching of wheat straw soda-anthraquinane pulp. Cellulose chemistry and trechnology, Vol. 40, pp: 413-420.
– Jeyasingan, J.T., 1991. Mill experience in the application of nonwood fiber for paper making. Nonwood plant fiber pulping, No.20
– Lathrop, E.C., 1971. Agricultural residue pulps comparison with typical wood pulp. Paper Trade J. Vol. 124 No. 13: 49-55.
– Lora, J.H. and Pye, E.K., 1994. The ALCELL process; an environmentally sound approach to annual fibers pulping, in proceeding nonwood fibers for industry conference, Vol. II.
– McKean, W.T. and Jacobs, R.S., 1997. Wheat straw as a paper fiber source: Clean Washington conter and Domtar Inc.
– Mohan, R.; Prasad, R.; Yadav, R.; Ray, K.K. and Rao, N.J.; 1988. Pulping studies of wheat straw using soda and soda-anthraquinone processes. First Int. Nonwood Pulping Conf. Bejing, China, 339.
– Montane, D.; Farriol, X., Salvado, J. and Chornet, E. 1998. Application of steam explosion of the fractionation and rapid vapor-phase alkaline pulping of wheat straw. Biomass and Bioenergy, Vol. 14. No. 3:261-276.
– Mustayoki, S.; Leponiemi, A. and Dahl, O., 2010. Alkaline peroxide bleaching of hot water treated wheat straw. Bioresources, 5(2):808-8026.

– Pan, G.X. and Leary, G.L., 2000a. Alkaline peroxide mechanical pulping of wheat straw, Part 1: Factors influencing the brightness response in impregnation: Tappi Journal Peer Reviewed, 9 p.
– Pan, G.X. and Leary, G.L., 2000b. Alkaline peroxide mechanical pulping of wheat straw. Part 2: Significance of peroxide stabilization of the brightening of wheat straw. Tappi Journal Peer Reviewed, 11p.
– Petit-Conil, M., Brochier, B., Labalette, F., Combette, P., 2001. Potential of wheat straw to produce chemimechanical pulps suited to corrugating papers manufacture. Tappi pulping conference, 10p.
– Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2009. Standard test methods. Tappi Press, Atlanta, GA. USA.
– Wang, A.; Dixon, N.G.; Hull, J. and Fredrick, W.H., 1991. Potassium-based pulping of wheat straw. Nonwood plant fiber pulping No. 19.
– Xu, C.E. and Narayama, R., 2001. APMP (Alkaline Peroxide Mechanical Pulping) pulp from nonwood fibers, Part 3: Bagasse, Tappi pulping conference 10 p.
– Zhao, J., Li, X., Qu., Y. and Gao, P., 2004. Alkaline peroxide mechanical pulping of wheat straw with enzyme treatment. Applied Biochemistry and Biotechnology, Vol.112, p:13-23.

Investigation on production of bleachable chemi-mechanical pulp from wheat straw

Jahan Latibari, A.*

*- Corresponding Author, Associated Professor of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. Email: latibari_24@yahoo.com

Received: July, 2011 Accepted: Nov., 2011

Abstract

In an attempt to develop pulping process suitable for small scale implementation, production of bleachable chemi-mechanical pulp from wheat starw is investigated. Four levels (10, 12, 14 and 16% based on oven dry weight of straw) NaOH and three pulping times (20, 30 and 40 minutes) at 95°C pulping temperature were used. After digester yield varied between 64.65 and 71.7% and the total yield after defibration was measured as 54.45% and 62%. Unrefined pulp freeness varied between 708 and 765 ml CSF. Pulps produced applying 10-16% NaOH, 40 minutes pulping time and 95°C pulping temperature was selected from further evaluation. These pulps were refined to about 365 ml CSF in a PFI mill and then handsheets were made for strength evaluation. The apparent density of the handsheets varied between 437-488 kg/m^3, tear index between 6.51-7.11 mN.m^2/g, and tensile index between 29.2 -30.8 N.m/g. Significant difference at 99% was not observed between the strength of the pulps. Then pulp produced applying 10% NaOH, 40 minutes pulping time and 95°C pulping temperature was selected for bleaching trials. Totally Chlorine Free (TCF) bleaching sequence was used for bleaching the selected pulp. Pulps bleached applying 4% H_2O_2 and 3.5% NaOH, 3% sodium Silicate, 0.5% MgSO4 and 0.3% DTPA for 2 hours showed the highest brightness of 50.69% compared to 29.2% for unbleached pulp.

Keywords: Wheat straw, chemi-mechanical pulp, yield, strength, totally chlorine free