

## بررسی پتانسیل ساقه کلزا در تولید کاغذ

رضا حسین پور

تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

احمد جهان لتیباری\*<sup>+</sup>، آژنگ تاجدینی، سید محمد جواد سپیده دم، محمدعلی حسین

کرج، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

**چکیده:** در این پژوهش ساخت خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از پسماند کلزا انجام گرفته است. فراوری شیمیایی در دو دمای ۱۲۵ و ۱۴۵ درجه سانتی گراد و زمان‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه و در مقدار مصرف ثابت ۴ درصد سدیم هیدروکسید و ۸ درصد سدیم سولفیت در یک محفظه پخت تحت فشار انجام شده است. بازده قابل قبول بین کمینه‌ی ۵۳٫۸ درصد در شدیدترین شرایط پخت تا بیشینه‌ی ۶۳ درصد در ملایم‌ترین شرایط پخت اندازه‌گیری و بازده کل بین ۵۷٫۶ درصد تا ۶۸٫۹ درصد اندازه‌گیری شد. میزان لیگنین باقی مانده در خمیر کاغذ با بازده کمتر معادل ۱۹ درصد و بازده زیادتر برابر با ۲۰٫۴ درصد بود. هولوسلولز خمیر کاغذ نیز بین ۷۲٫۵ درصد تا ۷۴ درصد و درجه روانی قبل از پالایش بین ۵۲۰ تا ۵۹۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی اندازه‌گیری شد. تحلیل کیفی الیاف با استفاده از دستگاه تحلیل‌گر کیفیت الیاف (FQA) نشان داد که میانگین طول الیاف خمیر کاغذ بین ۰٫۵۴ تا ۰٫۶۵ میلی متر، میزان نرمه‌ها زیاد و زبری الیاف بین ۰٫۲۱ تا ۰٫۴۱ میلی گرم بر متر است. درجه روانی خمیر کاغذ پس از ۵۰۰ دور پالایش در پالا پیشگر PFI به حدود ۳۰۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی رسید، ولی تغییر چشمگیری در کیفیت الیاف آن دیده نشد. طبقه بندی الیاف با استفاده از غربال‌های بوئر- مکننت نیز نتیجه‌های همانند تحلیل کیفی الیاف را نشان داد. روشی خمیر کاغذ بین کمینه‌ی ۳۱٫۸۶ درصد تا بیشینه‌ی ۴۳٫۲۸ درصد، ماتی بیش از ۹۹ درصد و شفافیت بین ۴٫۸۶ تا ۷٫۱۶ درصد متغیر بود، که در اثر پالایش تغییری در آن ایجاد نشد. شاخص مقاومت در برابر کشش خمیر کاغذهای پالایش شده بین ۱۵٫۴۷ N.m/g تا ۲۶٫۱۴ N.m/g اندازه‌گیری شد که بعد از پالایش به ۱۹٫۷۴ N.m/g تا ۳۵٫۱۹ N.m/g افزایش یافت. شاخص مقاومت در برابر پاره شدن خمیر کاغذهای پالایش شده بین ۲٫۹۱ m.Nm<sup>۲</sup>/g تا ۴٫۳۴ m.Nm<sup>۲</sup>/g پس از پالایش افزایش یافت. شاخص مقاومت در برابر ترکیدن خمیر کاغذهای پالایش نشده کمتر از ۱ kPa.m<sup>۲</sup>/g بود، که پس از پالایش به بیشترین مقدار یعنی ۱٫۷۰ kPa.m<sup>۲</sup>/g افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** کلزا، شیمیایی - مکانیکی، بازده، ویژگی نوری، میانگین طول الیاف، زبری، ویژگی مقاومتی.

**KEY WORDS:** Colza, Chemi-mechanical, Yield, Optical strength, Fiber length, Coarseness.

### مقدمه

به مرحله اجرا در آمد، به دلیل استقبال عمومی از چنین سامانه‌ی، اندیشمندان چنین استنباط کردند که گسترش این سامانه

در اواسط دهه ۱۹۸۰ و اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی، زمانی که گسترش شبکه‌های بین المللی اطلاع رسانی

+E-mail: latibari\_24@yahoo.com

\*عهد دار مکاتبات

زیادتر است. بدین دلیل توجه رو به گسترشی در پژوهش‌های مرتبط با خمیر کاغذ سازی از منابع غیرچوبی به ویژه در کشورهای مواجه با محدودیت منابع چوبی (با هدف گسترش صنعت کاغذ سازی ملی و تأمین نیازها) و در کشورهای صنعتی (با هدف گسترش فناوری ماشین آلات) وجود دارد.

پن و لیری، تأثیر شرایط فراوری شیمیایی بر روشنی و بازده خمیر کاغذ مکانیکی پروکسید قلیایی از گاه گندم کانادا را با هدف تولید خمیر کاغذ با بازده زیادتر و کیفیت مناسب ساخت کاغذ چاپ و تحریر بررسی کرده و عنوان می‌کنند که؛ تولید خمیر کاغذ مکانیکی رنگ بری شده تا درجه روشنی حدود ۶۰ درصد و بازده حدود ۷۵ درصد امکان پذیر است [۴]. در زمینه خمیر کاغذ پربازده، زو، تولید خمیر کاغذ مکانیکی پروکسید قلیایی از کنف و چتایی را ارزیابی کرده و عنوان می‌کند که ویژگی‌های مقاومتی و نوری این خمیر کاغذ برتر از خمیر کاغذ مکانیکی از صنوبر لرزان است و با استفاده از این فرایند امکان ساخت واحدهای کوچک تولید خمیر کاغذ وجود دارد [۵]. نویی و فاتحی، تولید خمیر کاغذ از کُش برنج را با استفاده از فرایند سودا - اتانول بررسی کرده اند و بازده خمیر کاغذ را در بازه بین ۵۲ تا ۶۱٫۷۷ درصد و عدد کاپا را بین ۵۱٫۶ تا ۱۰۴ گزارش می‌کنند [۶]. ایشان عنوان می‌کنند که برای رسیدن به بازده مناسب در کمترین عدد کاپا باید از غلظت زیادتر اتانول (۶۵ درصد وزنی) و دمای بالاتر پخت (۲۱۰ درجه سانتی گراد) استفاده شود. لوپس و جکسون، کاربرد گیاهی از خانواده نی به عنوان ماده اولیه مناسب خمیر کاغذ سازی در امریکا [۷]، نیش و همکاران، تولید خمیر کاغذ پربازده از کنف برای تولید کاغذ روزنامه [۸]، چن و همکاران، ساخت خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از کُش برنج را بررسی کرده‌اند [۹].

ویژگی‌های شیمیایی چندین خمیر کاغذ قلیایی از سرشاخه‌های نخل روغنی بررسی شده و بازده خمیر کاغذهای سودا، سودا-آنتراکینون، کرافت و کرافت-آنتراکینون به ترتیب ۴۳٫۷۹ درصد، ۴۴٫۱۳ درصد، ۴۴٫۸۷ درصد و ۴۰٫۲۰ درصد و عدد کاپای آن‌ها به ترتیب ۱۵٫۳۳، ۱۳٫۷، ۳۲٫۲ و ۵٫۸۶ گزارش شده است. ولی هولوسلولز و  $\alpha$  - سلولز این خمیر کاغذها بسیار کم اندازه‌گیری شده است.

کریستو و همکاران، با استفاده از سه فرایند سودا-آنتراکینون (Soda-AQ)، سولفیت قلیایی - آنتراکینون (AS/AQ) و سولفیت قلیایی - آنتراکینون - متانول (ASAM) خمیر کاغذ از شاخه و برگ درخت نخل تهیه کرده‌اند و عنوان می‌کنند که تغییرهای

به کم شدن مصرف کاغذ و فرآورده‌های کاغذی می‌انجامد. این تفکر به اغلب کشورهای دنیا رسوخ کرد و کشورهایی که با محدودیت منابع تولید کاغذ روبرو بودند آن را راه حلی در رفع مشکل تأمین کاغذ دانستند و حتی در مواردی مانع از توسعه صنعت کاغذ سازی ملی شدند. ولی نه تنها چنین پدیده‌ای اتفاق نیفتاد، بلکه تولید کاغذ و فرآورده‌های کاغذی با افزایش قابل ملاحظه‌ای مواجه شد. در شرایطی که تولید کاغذ در سال ۱۹۸۸ میلادی حدود ۲۲۵ میلیون تن بود، در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ میلادی به ترتیب به ۳۲۴ و ۳۶۰ میلیون تن افزایش یافت. به ناچار آن گروه از کشورهایی که با محدودیت توان تولید کاغذ مواجه هستند، در راستای استقرار تولید داخلی و ملی استفاده از منابع ماده اولیه داخلی و کمتر مصرف شده را مد نظر قرار دادند. البته در اوایل هزاره سوم میلادی، این تفکر به کشورهای مواجه با منابع محدود چوبی منحصر نبوده و کشورهایی که به طور سنتی از چوب برای تولید کاغذ استفاده می‌کنند نیز به نگرشی همانند، ولی محدود رسیده‌اند [۱]. در نتیجه پیش‌بینی می‌شود که تولید خمیر کاغذ از منابع غیرچوبی به‌عنوان جایگزین خمیر کاغذ از چوب گسترش یابد. پانسی، سه سناریو را در زمینه توسعه تولید خمیر کاغذ از منابع غیرچوبی مطرح می‌کند [۲]. طبق سناریوی اول؛ ظرفیت تولید خمیر کاغذ از منابع غیرچوبی در دنیا از مقدار ۲۰/۷۳۶ میلیون تن در سال ۱۹۹۳ میلادی به ۳۶/۴۸۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۰ میلادی افزایش می‌یابد. طبق این سناریو، تولید خمیر کاغذ از منابع غیرچوبی با همان رشد قبلی ادامه یافته و همان کشورهایی که به طور سنتی از منابع غیرچوبی استفاده می‌کنند، کماکان به فعالیت ادامه می‌دهند [۳]. در سناریوی دوم تولید خمیر کاغذ از منابع غیرچوبی در سال ۲۰۱۰ میلادی به ۸۴/۸۰۵ میلیون تن بالغ می‌شود. در این سناریو تولید در کشورهایی که در گذشته از این منابع استفاده می‌کردند، افزایش زیادی داشته و مناطقی مانند آمریکای شمالی، آمریکای لاتین و آفریقا نیز تا حدود ۵ درصد از خمیر کاغذ مورد نیاز خود را از منابع غیرچوبی تأمین خواهند کرد. البته این سناریو را بعید تلقی می‌کنند. در سناریوی سوم که کمترین میزان مصرف خمیر کاغذ از منابع غیرچوبی مورد نظر قرار گرفته است، تولید خمیر کاغذ از منابع غیر چوبی به ۳۵/۶۲۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۰ میلادی خواهد رسید [۳]. در هر حالت تولید خمیر کاغذ از منابع غیرچوبی در سطح دنیا از رشدی در حدود ۱۵ - ۱۲ درصد برخوردار خواهد بود و در این مسیر افزایش سهم کشورهای کمتر توسعه یافته و مواجه با محدودیت منابع جنگلی و چوبی

و ملایی و همکاران، ساخت خمیر کاغذ سودا از ساقه کلزا را بررسی کرده اند [۲۴].

با وجودی که پژوهش‌های به نسبت چشمگیری در تعیین ویژگی‌های خمیر کاغذ از الیاف غیرچوبی و چندین پژوهش نیز در تولید خمیر کاغذ شیمیایی یا نیمه شیمیایی از ساقه کلزا انجام شده است، ولی این پژوهش‌ها در شرایط فراوری شیمیایی شدید انجام گرفته و بازده کم بوده است. در نتیجه با توجه به ضرورت تولید خمیر کاغذ با بازده زیاده‌تر و ویژگی‌های مناسب؛ که بتوان از مقدار معینی ماده اولیه، خمیر کاغذ زیادتری تولید کرد، در این پژوهش تولید و ارزیابی ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی مورد بررسی قرار گرفته است.

### بخش تجربی

#### نمونه برداری

ساقه کلزای این بررسی رقم هیولا و از مزارع کشت کلزا در شهرستان رودبار، استان گیلان تهیه شده است. پس از انتقال نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه خمیر کاغذ، برگ‌ها و ساقه‌های خیلی نازک دارای دانه‌روغنی از آن جدا شده و سپس ساقه‌ها به قطعه‌هایی به طول حدود ۳ سانتی‌متر بریده شدند. مغزگیری دستی انجام گرفته و خرده‌های بدون مغز در کیسه‌های پلی اتیلنی بسته‌بندی شدند. ویژگی‌های شیمیایی ساقه، مرفولوژی الیاف آن و اندازه خرده‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است [۲۵].

#### ساخت خمیر کاغذ

برای ساخت خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی (CMP)<sup>(۱)</sup> از ساقه کلزا، از سه زمان پخت (۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه) و دو دمای پخت (۱۲۵ و ۱۴۵ درجه سانتی‌گراد) استفاده شده است. سایر عوامل پخت شامل مقدار سدیم هیدروکسید (۴ درصد)، مقدار سدیم سولفیت (۸ درصد) و نسبت مایع به ماده سلولزی ۱:۷ ثابت در نظر گرفته شده و در هر پخت از ۱۰۰ گرم (مبنای وزن خشک) ساقه بدون مغز کلزا استفاده شده است. برای پخت ساقه کلزا از محفظه فولاد زنگ نزن تحت فشار استفاده شده و دمای پخت توسط داماسنج و ترموستات کنترل شده است. پس از پایان هر پخت، محتویات مخزن پخت بر روی غربال به اندازه سوراخ‌های ۲۰۰ مش تخلیه شده و مقدار مایع پخت باقی‌مانده اندازه‌گیری شده است. حدود ۱۰۰ میلی‌لیتر از این مایع برای اندازه‌گیری سدیم هیدروکسید

زیادی در بازده و ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ وجود دارد. زیاده‌ترین بازده و ویژگی‌های مقاومتی با اعمال فرایندهای AS/AQ و ASAM به دست آمده است. بازده خمیر کاغذ سودا کم است ولی ویژگی‌های مقاومتی آن خوب می‌باشد. این خمیر کاغذها را می‌توان توسط ترتیب رنگ بری به طور کامل بدون کلر (TCF) تا درجه روشنی زیاد، رنگ بری کرده و برای ساخت کاغذ چاپ و تحریر استفاده کرد. نه تنها پژوهش‌های مرتبط با استفاده از منابع غیرچوبی در سطح دنیا زیاد است بلکه توجه ویژه‌ای نیز به چنین پژوهش‌هایی در ایران با نگرش استفاده از انواع ماده اولیه غیرچوبی دارای پتانسیل انجام شده است [۱۰]. صالحی ساخت خمیر کاغذ پربازده از باگاس را با دو روش شیمیایی - مکانیکی (CMP) و شیمیایی - مکانیکی (CTMP)، انجام داده و ویژگی‌های خمیر کاغذها را مقایسه کرده است. وی عنوان می‌کند که بازده خمیر کاغذ CTMP بین ۳ تا ۴ درصد زیادتر از خمیر کاغذ CMP است و در شرایط فراوری شیمیایی ۱۵ درصد سدیم هیدروکسید و زمان ۱۵ دقیقه به ۸۰/۷ درصد می‌رسد. خمیر کاغذهای CMP دارای طول پاره شدن به تقریب برابر، مقاومت در برابر ترکیدن زیادتر و مقاومت در برابر پاره شدن کمتر از خمیر کاغذهای CTMP هستند [۱۱]. رودی ساقه آفتابگردان را به عنوان ماده اولیه ساخت خمیر کاغذ نیمه شیمیایی [۱۲] و سرائیان، کاه گندم خراسان را به عنوان ماده اولیه ساخت خمیر کاغذ مکانیکی پروکسید قلیایی ارزیابی کرده‌اند [۱۳]. سرائیان عنوان می‌کند که بیشترین بازده خمیر کاغذ ۷۲/۳۶ درصد و کمترین آن ۶۱/۲۵ درصد است [۱۳]. سفیدگران تولید خمیر کاغذ سودا از ساقه کلزا برای ساخت کاغذ فلوتینگ و مقایسه آن با خمیر کاغذ سودا از کلش برنج [۱۴]، مرادیان و همکاران ساخت خمیر کاغذ CMP از کاه گندم [۱۵]، رسالتی ساخت خمیر کاغذ نیمه شیمیایی از باگاس و ترکیب آن با خمیر کاغذ CMP از چوب پهن برگان برای ساخت کاغذ روزنامه [۱۶]، فخریان و همکاران ویژگی‌های خمیر کاغذ CMP و APMP از ساقه ذرت [۱۷]، جهان‌تیبیاری و همکاران [۱۸]، ساخت خمیر کاغذ NSSC از کاه گندم، حجازی و همکاران، ساخت خمیر کاغذ از کاه گندم [۱۹]، حمصی و همکاران و احمدی و همکاران، ساخت خمیر کاغذ NSSC از ساقه کلزا [۲۰، ۲۱]، مظهری موسوی و همکاران، ساخت خمیر کاغذ سودا- آنتراکینون از ساقه کلزا [۲۲]، درویش قدیما و همکاران، ساخت خمیر کاغذ پربازده از ساقه بدون مغز ذرت [۲۳]

(۱) Chemi-mechanical pulp

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی، مرفولوژی الیاف ساقه کلزا، رقم هیولا ۴۰۱ مورد استفاده.

ویژگی‌های خرده‌ها از ساقه کلزا			ترکیب شیمیایی (درصد)		الیاف		
واحد	مقدار	ویژگی			واحد	مقدار	ویژگی
mm	۱۹,۳۱	میانگین قطر خرده	۴۸,۵	سلولز	mm	۱,۳۱۹ ± ۰,۵۲	طول فیبر
mm	۳۴,۳۵	میانگین طول خرده	۷۷,۵	هولوسولوز	μm	۳۱ ± ۷,۴	پهنای فیبر
%	۷,۵۱	مقدار مغز	۱۷	پنتوزان	μm	۱۹,۵ ± ۶,۵	قطر حفره سلولی
%	۹۲,۴۹	مقدار پوسته	۲۰	لیگنین	μm	۵,۷۵	ضخامت دیواره سلولی
			۵۰,۳	مواد استخراجی محلول در سدیم هیدروکسید ۱ درصد	-	۴۲,۵	ضریب درهم رفتگی
			۱۲,۱۶	مواد استخراجی محلول در آب گرم	-	۰,۶۳	ضریب انعطاف‌پذیری
			۱۳,۸	مواد استخراجی محلول در آب سرد	-	۰,۵۹	ضریب رانکل
			۵	مواد استخراجی محلول در حلال آلی	-	۰,۱۸۵	صلبیت دیواره
			۶۶	خاکستر			

- T 494 om -06 - مقاومت در برابر کشش  
 T 222 om -06 - لیگنین باقی مانده در خمیر کاغذ  
 Useful method 245-75 - هولوسولوز  
 ASTM D1103 - α- سلولز

#### تعیین کیفیت الیاف

با استفاده از تحلیل گر کیفیت الیاف (FQA)<sup>(۳)</sup>، (دستورالعمل T271 om-07 آئین نامه تاپی)، کیفیت الیاف بررسی شده است. چندین وسیله تحلیل نوری کیفیت الیاف وجود دارند که دارای اختلاف جزئی می‌باشند [۲۷]. در بین این تجهیزات FQA از کارایی بالاتری برخوردار است و کاربرد گسترده تری یافته است. FQA از سه سامانه هیدرولیکی، نوری و پردازش تصویر تشکیل شده است. وقتی سوسپانسیون رقیق از الیاف به صورت جریان لایه‌ای (ورقه‌ای) از داخل سلول جریان ورقه عبور می‌کند (شکل ۲)، در معرض جریان نور قرار گرفته و از سامانه تصویر برداری می‌گذرد. این سلول جریان؛ ورقه ای از الیاف را به صورت هیدرودینامیکی از یک مجرای نازک (به تقریب به صورت دو بعدی، 2D) عبور می‌دهد. در این سلول جریان ورقه‌ای نازکی دارای الیاف که با یک تزریق کننده جمع شونده به آن وارد می‌شود تشکیل می‌شود (شکل ۲). در سلول جریان که قبل از منطقه تصویر برداری واقع شده است، الیاف به تدریج جهت‌یابی شده و در مسیر مشخص قرار می‌گیرند. سامانه تصویر برداری از یک دوربین مدار بسته (CCD) دو بعدی

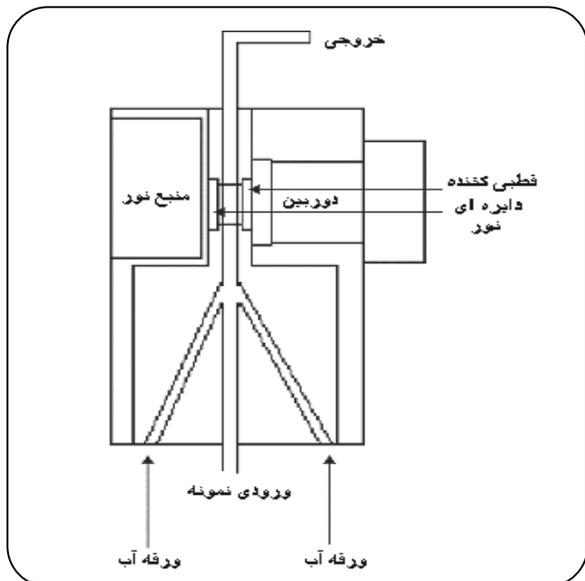
و سدیم سولفیت باقی‌مانده جدا شده و بقیه مایع همراه با خرده‌های پخته شده به داخل سطل پلاستیکی انتقال یافت و پس از افزودن حدود ۴ لیتر آب جوش به آن، جداسازی الیاف در درصد خشکی کم توسط پالایشگر صفحه‌ای آزمایشگاهی با قطر صفحه ۲۵ سانتی‌متر طی سه عبور انجام گرفت. سوسپانسیون الیاف بر روی یک سری دوتایی غربال مجهز به توری با اندازه سوراخ ۱۴ مش در بالا تخلیه شد و الیاف باقی‌مانده بر روی غربال ۱۴ مش به عنوان واژه و الیاف عبور کرده از غربال ۱۴ مش و باقی‌مانده بر روی غربال ۲۰۰ مش به عنوان خمیر کاغذ قابل قبول جمع‌آوری شدند. دو بخش از الیاف به طور جداگانه بسته‌بندی شدند و پس از تعیین رطوبت، بازده قابل قبول و واژه محاسبه شد. از الیاف قابل قبول برای بررسی ویژگی‌های نوری، مقاومتی، طبقه‌بندی الیاف و تحلیل کیفی الیاف استفاده شد. تعیین ویژگی‌های الیاف و خمیر کاغذ طبق دستورالعمل‌های آیین‌نامه تاپی<sup>(۱)</sup> [۲۶] به شرح زیر انجام گرفته است:

- T 233 cm -06 - طبقه‌بندی الیاف با استفاده از غربال‌های بوئر - مکنٹ<sup>(۲)</sup> (شکل ۱)  
 T 248 sp -08 - پالایش خمیر کاغذ  
 T 227 om -04 - اندازه گیری درجه روانی  
 - ساخت کاغذ دست ساز  
 T 414 om -04 - مقاومت در برابر پاره شدن  
 T 403 om -02 - مقاومت در برابر ترکیدن

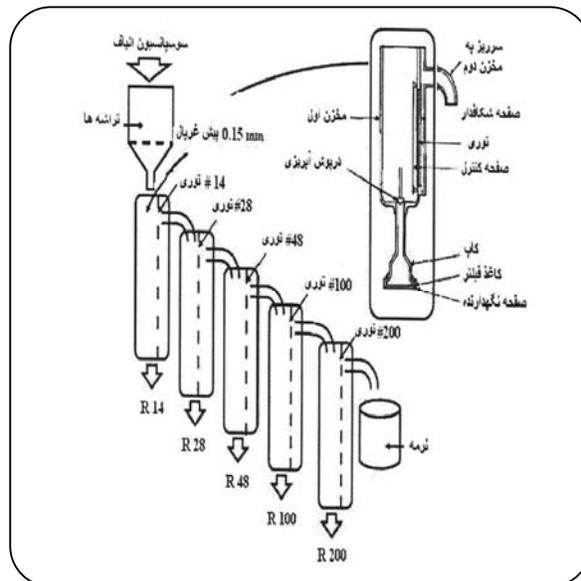
(۲) TAPPI

(۳) Fiber quality Analyzer

(۲) Bauer-McNett



شکل ۲- پیکره بندی سلول جریان در تحلیل کیفیت الیاف (FQA).



شکل ۱- چیدمان غربالها در وسیله طبقه بندی الیاف بوئر - مکت.

هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH معادل ۹ به آن افزوده شده و مقدار اسید مصرف شده یادداشت می شود (a). پس از آن pH محلول با افزودن هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال تا ۲/۵ کاهش داده شده و مقداری نشاسته به محلول اضافه می شود. محلول با استفاده از پتاسیم یدات ( $KIO_3$ ) ۱/۸ نرمال تا رنگ آبی تیره شده و حجم پتاسیم یدات یادداشت می شود (b) با استفاده از معادله های (۳) و (۴) میزان سدیم هیدروکسید و سدیم سولفیت باقی مانده محاسبه می شود:

$$\text{NaOH}(\%) = \frac{2aV}{25000} \quad (3)$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_3(\%) = \frac{3.94bV}{25000} \quad (4)$$

V: حجم مایع پخت مصرف شده جمع آوری شده

### تجزیه و تحلیل آماری

داده های این بررسی بر اساس آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی تجزیه و تحلیل شده و در صورت معنی دار بودن اختلافها، گروه بندی میانگینها با استفاده از روش دانکن انجام گرفته است. برای پردازش داده ها از نرم افزار SPSS<sup>(۱)</sup> استفاده شده است.

با وضوح  $256 \times 256$  پیکسل تشکیل شده است و در این دوربین وضوح و بزرگ نمایی مرتبط با اندازه یک پیکسل معادل حدود ۳۵ میکرون در یک رشته الیاف است. با استفاده از FQA؛ میانگین طول الیاف (mm)، میزان نرمه ها (%)، زبری (mg/m)، خمیدگی (%) و شاخص شکستگی (%) اندازه گیری و گزارش می شود.

$$(C) = \frac{m}{nl_n} \quad (1)$$

m: وزن کاملاً خشک نمونه کوچکی از الیاف که در تحلیل قرار گرفته اند،

$l_n$ : میانگین طول الیاف

n: تعداد الیاف در نمونه الیاف به وزن m گرم

$$(Cl) = \frac{1}{L} - 1 \quad (2)$$

Cl: شاخص خمیدگی

L: طول خمیده الیاف

L: بلندترین طول الیاف

### تعیین مقدار مواد شیمیایی باقی مانده در مایع پخت مصرف شده

به یک بشر ۲۵۰ میلی لیتری مقداری بین ۱۰۰-۷۵ میلی لیتر آب مقطر و ۵۰ میلی متر مایع پخت مصرف شده افزوده می شود. در حال همزدن،

(1) Statistical Package for Social Sciences

جدول ۲- بازده و ترکیب شیمیایی خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه کلزا.

کد خمیر کاغذ <sup>(۱)</sup>	شرایط متغیر پخت		بازده خمیر کاغذ (درصد)			لیگنین باقی مانده (درصد)	خاکستر (درصد)	هولوسولوز (درصد)	درجه روانی mL (CSF)
	زمان	دما °C	قابل قبول	وازده	کل				
P <sub>۱</sub>	۱۵		۶۳	۵/۹	۶۸/۹۵	۲۰/۴	۳	۷۲/۵	۵۶۰
P <sub>۲</sub>	۳۰	۱۲۵	۶۴/۷	۲/۲۱	۶۶/۹۲	۲۰/۰	۲	۷۲/۵	۵۴۰
P <sub>۳</sub>	۴۵		۵۴/۸۲	۳/۰۹	۵۷/۹۱	۱۹/۸	۲	۷۳/۳	۵۲۰
P <sub>۴</sub>	۱۵		۶۰/۶۷	۴/۲۱	۶۴/۸۹	۱۹/۳	۳	۷۳/۸	۵۹۰
P <sub>۵</sub>	۳۰	۱۴۵	۶۱/۸۳	۲/۰۶	۶۳/۸۹	۱۹/۳	۳	۷۳/۵	۵۷۵
P <sub>۶</sub>	۴۵		۵۳/۷۷	۳/۷۹	۵۷/۵۷	۱۹/۰	۲	۷۴	۵۶۰
					۶۸/۷۰				۷۳۰
					۸۳/۳				۴۲۵
					۶۳/۵	۸/۴ <sup>(۶)</sup>			۳۰۰
					۶۷/۳				۳۵۰
					۷۶/۹۵				۳۵۰

(۱) شرایط ثابت پخت: نسبت L:W برابر ۱:۷، ۸٪ Na<sub>۲</sub>SO<sub>۳</sub>، ۴٪ NaOH، (۲) NaOH در مایع پخت مصرف شده باقی مانده است، (۳) درویش قدیم و همکاران، (۱۳۸۷)، (۴) حصصی و همکاران، (۱۳۸۵)، (۵) احمدی و همکاران (۱۳۸۸)، (۶) عدد کاپا ضریب ۰/۱۶ = لیگنین، (۷) فخریان و همکاران، (۱۳۸۶)، (۸) حصصی و ثمریها، (۱۳۸۴)

## نتیجه‌ها و بحث

اندازه گیری شده است. درجه روانی خمیر کاغذها کمینه ۵۲۰ و بیشترین ۵۹۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی بوده است. تحلیل آماری نتیجه‌ها نشان می‌دهد که تأثیر مستقل زمان پخت بر بازده قابل قبول، بازده کل و میزان لیگنین باقیمانده در سطح ۹۹ درصد معنی دار است. ولی تأثیر این عامل بر میزان هولوسولوز خمیر کاغذ در سطح ۹۵ درصد معنی دار بوده و تأثیر آن بر درجه روانی معنی دار نمی‌باشد. تأثیر دمای پخت بر بازده قابل قبول و بازده کل معنی دار نبوده ولی تأثیر آن بر درجه روانی در سطح ۹۵ درصد و بر روی هولوسولوز و لیگنین خمیر کاغذ در سطح ۹۹ درصد معنی دار شده است. تأثیر توأم دو عامل مورد بررسی بر هیچ کدام از ویژگی‌های مورد بحث معنی دار نشده است.

با استفاده از دستگاه تحلیل گر کیفی الیاف (FQA)، میانگین طول الیاف، نرمه، زبری و دو شاخص خمیدگی و شکستگی الیاف خمیر کاغذ قبل و بعد از پالایش تعیین شده است (جدول ۳). میانگین طول الیاف خمیر کاغذها بین کمینه ۰/۵۴ میلی متر تا بیشترین ۰/۶۵ میلی متر متغیر بوده است که بعد از پالایش کاهش جزئی داشته است. میزان نرمه‌ها بین ۵۵/۲ درصد تا ۶۲/۶ درصد تعیین شده است که بعد از پالایش به ۶۲/۱ درصد تا ۶۷/۳ درصد افزایش داشته است. زبری الیاف خمیر کاغذ پالایش نشده کم

با تغییر دو عامل زمان و دمای مرحله فرآوری شیمیایی و ثابت نگاه داشتن میزان مصرف سدیم هیدروکسید در مقدار ۴ درصد و سدیم سولفیت در مقدار ۸ درصد، نسبت مایع پخت به ماده جامد ۱:۷، از ساقه کلزای بدون مغز خمیر کاغذهای شیمیایی - مکانیکی ساخته شده و ویژگی‌های آن‌ها اندازه‌گیری شده است. از هر ترکیب شرایط پخت دو خمیر کاغذ تهیه شده است.

بازده، ترکیب شیمیایی و درجه روانی خمیر کاغذها در جدول ۲ خلاصه شده است. اندازه گیری بازده قابل قبول و بازده کل نشان می‌دهد که در شرایط ملایم تر پخت (۱۵ دقیقه و ۱۲۵ درجه سانتی گراد)، بازده قابل قبول ۶۳ درصد و بازده کل ۶۸/۹ درصد است. در اثر اعمال شرایط شدیدتر پخت، بازده قابل قبول و بازده کل به ترتیب به ۵۳/۸ درصد و ۵۷/۶ درصد کاهش یافته است. اندازه گیری میزان مواد شیمیایی باقی مانده در مایع پخت مصرف شده نشان می‌دهد که تمام سدیم هیدروکسید تزریق شده مصرف شده و بین بیشترین ۱/۱۶ درصد (شرایط ملایم تر پخت)، تا حداقل ۰/۳۱ درصد (شرایط شدیدتر پخت) از مقدار سدیم سولفیت باقیمانده است. میزان لیگنین باقیمانده در خمیر کاغذها بین ۱۹ درصد تا ۲۰/۴ درصد و میزان هولوسولوز در خمیر کاغذها بین ۷۲/۵ درصد تا ۷۴ درصد

جدول ۳- تأثیر زمان و دمای پخت بر تحلیل کیفی الیاف خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی از ساقه کلزا.

خمیر کاغذ پالایش شده <sup>(۳)</sup>						خمیر کاغذ پالایش نشده						کد خمیر کاغذ <sup>(۱)</sup>
شاخص شکستگی (درصد)	شاخص خمیدگی (درصد)	زبری (mg/m)	نرمه (درصد)	طول الیاف (mm)	درجه روانی mL(CSF)	شاخص شکستگی (درصد)	شاخص خمیدگی (درصد)	زبری (mg/m)	نرمه (درصد)	طول الیاف (mm)	درجه روانی mL(CSF)	
۱٫۲	۰٫۴۵	۰٫۵۳	۶۲٫۱	۰٫۶۳۲	۳۰٫۵	۰٫۹۳	۰٫۴۹	۰٫۴۱	۵۵٫۲	۰٫۶۵	۵۶۰	P <sub>۱</sub>
۰٫۹۷	۰٫۴۳	۰٫۴۲	۶۳٫۲۷	۰٫۶۱۳	۳۰٫۳	۰٫۸۴	۰٫۴۷	۰٫۳۵	۵۷٫۲	۰٫۶۴	۵۴۰	P <sub>۲</sub>
۰٫۸۶	۰٫۴۹	۰٫۳۸	۶۵٫۴	۰٫۵۹۴	۳۱٫۲	۰٫۷۵	۰٫۴۷	۰٫۳۰	۵۸٫۱	۰٫۶۲	۵۲۰	P <sub>۳</sub>
۱٫۳۱	۰٫۶۰	۰٫۳۷	۶۴٫۷	۰٫۵۸۱	۳۰٫۷	۱٫۱۵	۰٫۶۰	۰٫۳۲	۵۷٫۸	۰٫۶۰	۵۹۰	P <sub>۴</sub>
۱٫۲۷	۰٫۵۹	۰٫۳۴	۶۵	۰٫۵۶۴	۳۱٫۴	۱٫۱۲	۰٫۵۷	۰٫۲۸	۶۱٫۱	۰٫۵۸	۵۷۵	P <sub>۵</sub>
۱٫۲۰	۰٫۵۴	۰٫۲۵	۶۷٫۳	۰٫۵۲۶	۳۱٫۹	۱٫۰۳	۰٫۵۵	۰٫۲۱	۶۲٫۴	۰٫۵۴	۵۶۰	P <sub>۶</sub>
۱٫۰۴	۰٫۵۸	۰٫۱۱۱	۳۴٫۵۴	۰٫۵۰۳	۵۵۰	گرافت - آتراکینون (کم قلیایی) از کاه گندم <sup>(۲)</sup>						
	۰٫۷۰	۰٫۰۸۵		۰٫۶۵		پهن برگان <sup>(۴)</sup>						
	۰٫۱۲۵	۰٫۱۴		۲٫۲۲		سوزنی برگان <sup>(۴)</sup>						

(۱) شرایط ثابت پخت: نسبت L:W برابر ۱:۸، NaOH ۴٪، Na<sub>۲</sub>SO<sub>۴</sub> ۸٪، پس از ۵۰۰ دور پالایش در پالایشگر PFI (۳) Ates et al. (2008).

(۲) پس از ۵۰۰ دور پالایش در پالایشگر PFI (۳) Robertson et al. (۴)

الیاف جزء نرمه‌ها قرار می‌گیرد (P48)، که در اثر پالایش، افزایش حدود ۵-۳ درصد را نشان می‌دهد. تحلیل آماری نتیجه‌ها نشان می‌دهد که تأثیر مستقل دمای پخت بر میانگین طول الیاف خمیر کاغذ پالایش نشده در سطح ۹۹ درصد و پالایش شده در سطح ۹۵ درصد و بر روی بخش نرمه (R100) در مورد خمیر کاغذهای پالایش نشده و پالایش شده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده است. تأثیر مستقل دمای پخت بر بخش R14، R28 و درجه روانی خمیر کاغذهای پالایش نشده و پالایش شده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. تأثیر مستقل زمان پخت بر میانگین طول الیاف خمیر کاغذ پالایش نشده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده است که تأثیر این عامل بعد از پالایش معنی‌دار نمی‌باشد. تأثیر مستقل این عامل بر میزان الیاف R100 خمیر کاغذ پالایش نشده و پالایش شده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده است. ولی تأثیر مستقل آن بر دو بخش R14 و R28 معنی‌دار نبوده است. تأثیر متقابل دو عامل مورد بررسی فقط بر الیاف بخش R100 خمیر کاغذ پالایش نشده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده است.

ویژگی‌های مقاومتی شامل شاخص مقاومت در برابر کشش، طول پاره‌شدن، شاخص مقاومت در برابر ترک‌شدن، شاخص مقاومت در برابر پاره‌شدن و هم چنین دانسیته کاغذ از خمیر کاغذهای پالایش نشده و پالایش شده در جدول ۶ آمده است. دانسیته کاغذ از خمیر کاغذهای پالایش نشده بین ۰٫۳۳ تا ۰٫۳۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب

و بین ۰٫۲۱ تا ۰٫۴۱ mg/m اندازه گیری شده است که بعد از پالایش افزایش کمی را نشان می‌دهد. تغییر زیادی در شاخص خمیدگی الیاف در اثر پالایش دیده نشده است، ولی شاخص شکستگی افزایش یافته است. تأثیر مستقل عوامل مورد بررسی بر ویژگی‌های کیفی الیاف خمیر کاغذ پالایش نشده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده و فقط تأثیر زمان پخت بر شاخص خمیدگی الیاف معنی‌دار نبوده است. تأثیر متقابل دو عامل مورد بررسی بر روی میانگین طول الیاف، میزان نرمه‌ها و شاخص شکستگی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده است. وضعیت به تقریب همانندی نیز در مورد خمیر کاغذهای پالایش شده وجود دارد. تأثیر پالایش خمیر کاغذها بر تمام ویژگی‌های مورد بررسی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده است.

طبقه‌بندی الیاف خمیر کاغذهای پالایش نشده و پالایش شده، با استفاده از غربال‌های بوئر - مکنت، میانگین طول الیاف کمی بلندتر را نشان می‌دهد (جدول ۴). طبق نتیجه‌های این بخش از اندازه‌گیری‌ها، میانگین طول الیاف خمیر کاغذ بین ۰٫۶ تا ۰٫۷ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است که بعد از پالایش (به جز خمیر کاغذ P<sub>۳</sub>) تغییری را نشان نمی‌دهد.

اگر میزان نرمه‌ها جمع الیاف عبور کرده از غربال ۴۸ در نظر گرفته شود، اختلاف چشمگیری بین اندازه‌گیری‌های FQA و بوئر - مکنت دیده نمی‌شود و بین ۵۸٫۶ درصد تا ۶۱٫۲ درصد

جدول ۴- طبقه‌بندی بوئر - مکتک الیاف خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه کلزا.

کد خمیر کاغذ <sup>(۱)</sup>	خمیر کاغذ پالایش نشده						خمیر کاغذ پالایش شده <sup>(۲)</sup>					
	درجه روانی mL(CSF)	میانگین طول الیاف (mm)	R&P۰۰ (%)	R۱۰۰ (%)	R۲۸ (%)	R۱۴ (%)	درجه روانی mL(CSF)	میانگین طول الیاف (mm)	R&P(۱۰۰) (%)	R۱۰۰ (%)	R۲۸ (%)	R۱۴ (%)
P <sub>۱</sub>	۵۶۰	۰٫۷	۹٫۲	۵۳	۱۱٫۳	۳٫۸	۳۰۵	۰٫۷	۱۱٫۲	۲۷	۱۲٫۴	۴٫۳
P <sub>۲</sub>	۵۴۰	۰٫۷	۹	۴۸٫۷	۲۴٫۱	۳	۳۰۳	۰٫۷	۱۰٫۴	۲۵٫۶	۱۳٫۲	۳٫۸
P <sub>۳</sub>	۵۲۰	۰٫۷	۱۰	۵۱	۲۴	۳٫۴	۳۱۲	۰٫۷	۱۰٫۵	۲۵٫۴	۱۲٫۳	۳٫۶
P <sub>۴</sub>	۵۹۰	۰٫۶	۹٫۶	۴۹٫۷	۲۶٫۲	۵٫۲	۳۰۷	۰٫۶	۱۰٫۴	۲۶٫۴	۱۱٫۸	۵٫۵
P <sub>۵</sub>	۵۷۵	۰٫۶	۱۰٫۴	۴۸٫۸	۲۴٫۲	۵٫۷	۳۱۴	۰٫۶	۱۰٫۱	۲۵٫۳	۱۱٫۳	۶٫۱
P <sub>۶</sub>	۵۶۰	۰٫۶	۱۰	۴۸٫۶	۲۴٫۷	۴٫۶	۳۱۹	۰٫۶	۱۰٫۶	۲۵٫۷	۱۰٫۴	۵٫۳

(۱) شرایط ثابت پخت: نسبت L:W برابر ۱:۱، ۸٪ Na<sub>۲</sub>SO<sub>۳</sub>، ۴٪ NaOH، (۲) پس از ۵۰۰ دور پالایش در پالایشگر PFI

جدول ۵- ویژگی‌های نوری کاغذ از خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه کلزا.

کد خمیر کاغذ <sup>(۱)</sup>	خمیر کاغذ پالایش نشده <sup>(۲)</sup>				خمیر کاغذ پالایش شده <sup>(۳)</sup>				
	دانسیتته <sup>(۴)</sup> g/cm <sup>۳</sup>	روشنی (%) ISO	ماتی (%)	شفافیت (%)	درجه روانی mL (CSF)	دانسیتته <sup>(۴)</sup> g/cm <sup>۳</sup>	روشنی (%) ISO	ماتی (%)	شفافیت (%)
P <sub>۱</sub>	۰٫۳۸	۴۳٫۳۸	۹۹٫۶۰	۴٫۸۶	۳۰٫۵	۰٫۴۴	۴۳٫۴۳	۹۹٫۳۶	۵٫۱۲
P <sub>۲</sub>	۰٫۳۵	۴۳٫۱۲	۹۹٫۲۹	۶٫۱۲	۳۰٫۳	۰٫۴۱	۴۳٫۱۰	۹۹٫۰۳	۶٫۷۲
P <sub>۳</sub>	۰٫۳۳	۴۱٫۱۹	۹۹٫۲۷	۷٫۱۶	۳۱۲	۰٫۴۳	۴۱٫۲۶	۹۹٫۰	۷٫۵۳
P <sub>۴</sub>	۰٫۳۴	۴۰٫۱۹	۹۹٫۱۹	۶٫۲۱	۳۰۷	۰٫۴۶	۴۰٫۰۰	۹۹٫۰	۶٫۸۲
P <sub>۵</sub>	۰٫۳۵	۳۲٫۹	۹۹٫۴۰	۴٫۹۳	۳۱۴	۰٫۴۶	۳۳٫۰۰	۹۸٫۲۴	۵٫۳۲
P <sub>۶</sub>	۰٫۳۲	۳۱٫۸۶	۹۹٫۰۲	۵٫۰۹	۳۱۹	۰٫۴۸	۳۱٫۹۴	۹۹٫۷۸	۵٫۹۶
								۴۳٫۵۲	۹۶٫۶
								۴۶٫۴۲	۹۹٫۲۰

(۱) شرایط ثابت پخت: نسبت L:W برابر ۱:۱، ۸٪ Na<sub>۲</sub>SO<sub>۳</sub>، ۴٪ NaOH، (۲) درجه روانی خمیر کاغذهای پالایش نشده در جدول ۴ آمده است،

(۳) پس از ۵۰۰ دور پالایش در پالایشگر PFI، (۴) وزن پایه کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرم بر متر مربع، (۵) فخریان و همکاران، (۱۳۸۶)

در اثر پالایش دیده نمی‌شود و مقدارهای اولیه ۲/۹۱ تا ۴/۲۴ mN.m<sup>۲</sup>/g به ۳/۲۱ تا ۴/۶۸ mN.m<sup>۲</sup>/g افزایش یافته‌اند. شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذها کم است و در مورد کاغذ از خمیر کاغذهای پالایش‌نشده بین ۰/۵۵۷ تا ۰/۸۵۷ kPa.m<sup>۲</sup>/g اندازه‌گیری شده است که بعد از پالایش به ۱/۳۰ تا ۱/۷۰ kPa.m<sup>۲</sup>/g افزایش یافته است. تأثیر زمان و دمای پخت بر دانسیته کاغذها معنی‌دار نبوده ولی تأثیر مستقل عوامل مورد بررسی بر درجه روانی قبل و بعد از پالایش معنی‌دار نبوده ولی تأثیر متقابل این عوامل بر ویژگی‌های مقاومتی مورد بررسی در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار شده است.

و کاغذ از خمیر کاغذهای پالایش شده بین ۰/۴۴ تا ۰/۴۸ گرم بر سانتی متر مکعب متغیر بوده است که نشان می‌دهد این کاغذها حجیم هستند. شاخص مقاومت در برابر کشش کاغذ از خمیر کاغذهای پالایش نشده بین کمینه‌ی ۱۵/۴۷ N.m/g (کاغذ P<sub>۱</sub>) تا ۲۶/۱۳ N.m/g (کاغذ P<sub>۶</sub>) اندازه‌گیری شده است که پس از پالایش به‌ترتیب به ۱۹/۷۴ N.m/g و ۳۵/۱۹ N.m/g افزایش یافته است. طول پاره شدن کاغذ از خمیر کاغذهای پالایش نشده نیز بین ۱/۵۷ تا ۲/۶۶ Km محاسبه شده است که بعد از پالایش به ۲/۰۱ تا ۳/۵۸ Km افزایش یافته است. افزایش قابل ملاحظه در شاخص مقاومت در برابر پاره شدن

جدول ۶ - ویژگی‌های مقاومتی الیاف خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه کلزا.

کد خمیر کاغذ <sup>(۱)</sup>	خمیر کاغذ پالایش نشده <sup>(۲)</sup>					خمیر کاغذ پالایش شده <sup>(۳)</sup>				
	دانسیت <sup>(۴)</sup> g/cm <sup>۳</sup>	شاخص مقاومت در برابر کشش N.m / g	طول پاره شدن km	شاخص مقاومت در برابر تریکشن kPam <sup>۲</sup> / g	شاخص مقاومت در برابر کشش N.m / g	دانسیت <sup>(۴)</sup> g/cm <sup>۳</sup>	درجه روانی (CSF) mL	شاخص مقاومت در برابر کشش mN.m / g	شاخص مقاومت در برابر تریکشن kPam <sup>۲</sup> / g	طول پاره شدن km
P <sub>۱</sub>	۰.۳۸	۱۵.۴۷	۱.۵۷	۰.۵۵۷	۲.۹۱	۲.۰۵	۰.۴۴	۱۹.۷۴	۲.۰۱	۱.۳۰
P <sub>۲</sub>	۰.۳۵	۱۸.۱۷	۱.۸۵	۰.۶۱۲	۳.۱۱	۳.۰۳	۰.۴۱	۲۴.۶۸	۲.۵۱	۱.۴۰
P <sub>۳</sub>	۰.۳۳	۱۸.۲۳	۱.۸۵	۰.۶۴۲	۳.۷۴	۳.۱۲	۰.۴۳	۲۴.۱۸	۲.۴۶	۱.۳۰
P <sub>۴</sub>	۰.۳۴	۲۱.۴۸	۲.۱۹	۰.۷۹۵	۳.۷۴	۳.۰۷	۰.۴۶	۲۷.۳۴	۲.۷۸	۱.۵۰
P <sub>۵</sub>	۰.۳۵	۲۲.۲۲	۲.۲۶	۰.۷۹۶	۳.۸۸	۳.۱۴	۰.۴۶	۲۸.۳	۲.۸۸	۱.۵۰
P <sub>۶</sub>	۰.۳۲	۲۶.۱۳	۲.۶۶	۰.۸۵۷	۴.۳۴	۳.۱۹	۰.۴۸	۲۵.۱۹	۳.۵۸	۱.۷۰
						۴۱۶		۱۱.۶۹	۱.۱۸	
						۳۰۰		۵۷.۸		
						۳۵۰		۷۲.۶	۷.۴	۳.۵
						۵۵۰		۸۲.۱۰		۲.۴۹

(۱) شرایط ثابت پخت: نسبت L:W برابر ۱:۷، ۸٪ Na<sub>۲</sub>SO<sub>۴</sub>، ۴٪ NaOH، (۲) درجه روانی خمیر کاغذهای پالایش نشده از جدول ۴ آمده است، (۳) پس از ۵۰۰ دور پالایش در پالایشگر PFI

(۴) وزن پایه کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرم بر متر مربع، (۵) درویش قدیما و همکاران، (۱۳۸۷)، (۶) احمدی و همکاران، (۱۳۸۸)،

(۷) مظهری موسوی و همکاران، (۱۳۸۸)، (۸) Ates et al. (2008)

و ۸ درصد سدیم سولفیت) به خمیر کاغذ بهتر رسیده، ولی بازده کل تا مقداری بین حداقل ۵۷٫۶ درصد تا ۶۸٫۹ درصد کاهش یافت.

اندازه گیری درجه روانی خمیر کاغذ (۵۲۰-۵۹۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی) نشان داد که این خمیر کاغذ نرم تر و آبدوست‌تر از خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه ذرت با درجه روانی ۷۳۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی است در حالی که بازده دو خمیر کاغذ به طور کامل همانند هستند (بازده خمیر کاغذ از ذرت حدود ۶۸٫۷۰ درصد اندازه گیری شده است) [۲۳]. فخریان و همکاران، بازده خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه ذرت را ۶۷٫۳ درصد گزارش کرده اند که درجه روانی این خمیر کاغذ بعد از پالایش به ۳۵۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی رسیده است [۱۷]. بازده خمیر کاغذ NSSC از ساقه کلزا معادل ۸۳٫۳ درصد [۲۰] و از باگاس معادل ۷۴٫۹۵ درصد [۲۸] گزارش شده است. نکته قابل گفتن در مورد خمیر کاغذ NSSC از ساقه کلزا این است که درجه روانی این خمیر کاغذ با اعمال حدود ۴۱۰۰ دور پالایش در پالایشگر PFI

با وجودی که علاقمندی به استفاده از منابع الیاف غیرچوبی در تولید خمیر کاغذ رو به افزایش است، ولی این کاربرد با دو مشکل روبرو است. اول در اغلب کشورهای خشک و نیمه خشک که با محدودیت سطح جنگل‌ها روبرو هستند و باید از چنین موادی استفاده کنند، از پسماندهای کشاورزی به عنوان خوراک دام (غنی شده و یا غنی نشده) بهره گیری می‌کنند و دوم به علت حالیت زیاد این مواد در قلیا، بازده خمیر کاغذ از آن‌ها کم است. البته در بین پسماندهای کشاورزی ساقه کلزا جایگاه خاصی دارد، زیرا قطر ساقه اصلی آن تا حدود دو سانتی متر رشد می‌کند و به اندازه‌ای خشبی و قطور است که قابل مصرف توسط دام نخواهد بود. بنابراین به دلیل این ویژگی و هم‌چنین میزان تولید به نسبت زیاد در هکتار از پتانسیل خوبی در بین منابع تولید خمیر کاغذ برخوردار است. در این بررسی ابتدا سعی شده است با تزریق مواد شیمیایی کمتر به بازده زیادتر (در بازه خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از چوب) دست یافت. ولی در این حالت ویژگی‌های خمیر کاغذ مطلوب نبود. بنابراین با افزایش میزان تزریق ماده شیمیایی (ترکیب ۴ درصد سدیم هیدروکسید

غربال‌های درشت تر است (جدول ۴). تغییر در طبقه‌بندی الیاف و افزایش بخش الیاف بلند نشان دهنده پالایش پذیری خوب الیاف خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه کلزا است. زبری خمیر کاغذهای شیمیایی - مکانیکی از ساقه کلزا در جدول ۳ خلاصه شده است. زبری الیاف خمیر کاغذ پالایش نشده به بین  $0.21 \text{ mg/m}$  (خمیر کاغذ P) تا  $0.41 \text{ mg/m}$  (خمیر کاغذ P) افزایش یافته است. افزایش زبری در اثر پالایش مؤید پالایش‌پذیری این الیاف می‌باشد. زیرا در اثر پالایش الیاف لهیده شده و دانسیته و فشردگی آن‌ها زیادت‌تر می‌شود. زبری الیاف خمیر کاغذ کرافت - آنتراکینون با مصرف قلیایی کم برابر با  $0.111 \text{ mg/m}$  گزارش شده است که نشان می‌دهد هرچه الیاف نرم تر باشند و لیگنین زدایی بیشتری انجام گرفته باشد، زبری افزایش می‌یابد [۲۹]. زبری الیاف خمیر کاغذهای مورد بررسی کمتر از میانگین الیاف خمیر کاغذ از پهن برگان و سوزنی برگان است [۳۰]. با وجودی که از فرایند شیمیایی - مکانیکی استفاده شده و جداسازی الیاف توسط پالایشگر انجام گرفته است ولی شاخص خمیدگی و شاخص شکستگی الیاف این خمیر کاغذها کمتر از خمیر کاغذ کرافت - آنتراکینون از کاه گندم و میانگین خمیر کاغذ از پهن برگان و سوزنی برگان است (جدول ۳)، که مؤید نرم بودن ماده پس از فراوری شیمیایی می‌باشد.

ارزیابی ویژگی‌های نوری خمیر کاغذهای رنگبری نشده به عنوان یک عامل مورد بررسی متداول نمی‌باشد. ولی با توجه به هدف این بررسی که تولید خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی رنگ بری شده بود، بنابراین تأثیر عوامل مورد بررسی بر ویژگی‌های نوری شامل روشنی، ماتنی و شفافیت، ارزیابی شده تا بتوان با تلفیق این ویژگی‌ها و ویژگی‌های مقاومتی، خمیر کاغذ قابل رنگ بری که بهترین ترکیب از دو سری ویژگی‌های فوق را داشته باشد، انتخاب کرد. روشنی کاغذها بین بیشترین  $31.86$  درصد تا  $43.28$  درصد متغیر بوده است که در اثر زیاد شدن زمان و هم چنین دمای فراوری شیمیایی کاهش یافته است (جدول ۵). تغییر قابل ملاحظه‌ای در روشنی کاغذ از خمیر کاغذها پس از پالایش دیده نمی‌شود. میزان ماتنی کاغذها از خمیر کاغذها (قبل و بعد از پالایش) بیش از  $99$  درصد اندازه‌گیری شده است. شفافیت کاغذ از خمیر کاغذهای پالایش نشده بین  $4.86$  تا  $7.16$  درصد اندازه‌گیری شده است که پس از پالایش به  $5.12$  تا  $7.53$  درصد افزایش یافته است. با توجه به این که پالایش ساختمان الیاف را بازتر می‌کند، این ویژگی افزایش یافته است.

به  $425$  میلی لیتر کاهش یافته است که نشان‌دهنده پالایش پذیر نبودن خمیر کاغذ NSSC مورد بحث است. در صورتی که در این بررسی خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه کلزا با اعمال  $4\%$  سدیم هیدروکسید،  $8\%$  سدیم سولفیت،  $15$  دقیقه فراوری شیمیایی در دمای  $125$  درجه سانتی‌گراد به آسانی پالایش شده و درجه روانی آن از مقدار اولیه  $560$  میلی لیتر پس از  $500$  دور پالایش به  $305$  میلی لیتر کاهش یافته است. بنابراین به دلیل حالیت زیاد ساقه کلزا در سدیم هیدروکسید یک درصد ( $50.3$  درصد، جدول ۱)، و با توجه به این که تمام سدیم هیدروکسید تزریق شده به مصرف رسیده است، بازه به دست آمده قابل قبول است. همان طوری که از جدول ۲، مشخص است میزان لیگنین خمیر کاغذها بین  $19$  تا  $20.4$  درصد و میزان هولوسولوز آن‌ها بین  $72.5$  تا  $74$  درصد متغیر بوده است که این مورد نیز ناشی از حالیت زیاد کربوهیدرات‌های با وزن مولکولی پایین در محلول پخت و باقی ماندن لیگنین است.

تحلیل کیفی الیاف خمیر کاغذهای مورد بررسی که توسط تحلیل گر کیفی الیاف (FQA) انجام گرفته است در جدول ۳ خلاصه شده است. میانگین طول الیاف خمیر کاغذهای پالایش شده بین  $0.526$  میلی متر (شرایط شدیدتر فراوری شیمیایی) تا  $0.632$  میلی لیتر (شرایط ملایم تر فراوری شیمیایی) متغیر بوده است. به علاوه میزان نرمه‌های خمیر کاغذها بین  $62.1$  درصد (شرایط ملایم تر فراوری شیمیایی) تا  $67.3$  درصد (شرایط شدیدتر فراوری شیمیایی) تغییر کرده است. مقایسه میانگین طول الیاف خمیر کاغذها با خمیر کاغذ کرافت - آنتراکینون با مصرف قلیایی کم از کاه گندم [۲۹] پهن برگان و سوزنی برگان [۳۰] نشان می‌دهد که میانگین طول الیاف خمیر کاغذهای تهیه شده بیش از خمیر کاغذ از کاه گندم، به تقریب معادل میانگین پهن برگان و کمتر از سلول‌های آوندی و پارانشیمی زیاد در این ماده و هم چنین فراوری مکانیکی در مرحله جداسازی الیاف، میزان نرمه‌های آن‌ها زیادت‌تر از خمیر کاغذهای شیمیایی است. البته تغییر در میانگین طول الیاف و نرمه‌ها پس از پالایش قابل ملاحظه نبوده، بلکه می‌توان میانگین طول الیاف را عملاً تغییر نیافته تلقی کرد. طبقه‌بندی الیاف توسط غربال‌های بوئر - مکت نیز نتیجه‌های همانندی را نشان می‌دهد و فقط در اثر پالایش افزایش کمی در بخش‌های الیاف بلندتر ( $R14$  تا  $R28$ ) و کاهش در بخش  $R100$  دیده می‌شود. عامل آن لهیده شدن الیاف در اثر پالایش و عدم عبور آن‌ها از سوراخ‌های

که دارای ارزش افزوده زیادتری باشد ضروری می‌کند. در این بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از پسماند کلزا با هدف دستیابی به خمیر کاغذ با بازده زیادتر ولی با کیفیت مناسب‌تر انجام گرفته و نتیجه‌ها نشان داد که می‌توان از این ماده خمیر کاغذ قابل رنگ‌بری تولید کرد. از این خمیر کاغذ می‌توان به عنوان بخشی از خمیر کاغذ مورد استفاده در تولید کاغذ روزنامه استفاده کرد. بدین روش پسماندها از مزارع جمع‌آوری شده و احتمال شیوع آفات به کمترین میزان می‌رسد، همچنین منبع درآمدی برای کشاورزان خواهد شد و فرآورده‌ای که کشور مواجه با کمبود شدید آن است تولید شده و به استقرار صنایع ملی در مقیاس کوچک کمک خواهد شد.

### قدردانی

هزینه‌های اجرای این پژوهش توسط دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج تأمین شده است که بدین وسیله از رئیس محترم دانشگاه سیاست‌گذاری می‌شود. همچنین از جناب آقای دکتر رامین فرنود؛ رئیس محترم مرکز تحقیقات شیمی کاربردی دانشگاه تورنتو کانادا و جناب آقای دکتر پدram فاتحی پژوهشگر بخش خمیر کاغذ و کاغذ سازی دانشگاه UNB کانادا، که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند تقدیر و تشکر می‌نمایم.

روشنی کاغذهای این بررسی همانند کاغذ شیمیایی - مکانیکی (APMP و CMP) از ذرت دانه ای به ترتیب ۴۳/۵۳ درصد و ۴۶/۴۲ درصد است [۱۷]. ولی ماتی آن‌ها بیش از کاغذهای شیمیایی - مکانیکی از ساقه ذرت اندازه گیری شده است.

ویژگی‌های مقاومتی کاغذها (قبل و بعد از پالایش) شامل شاخص مقاومت در برابر کشش، طول پاره شدن، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن و شاخص مقاومت در برابر پاره شدن اندازه‌گیری شده است (جدول ۶). به طور کلی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ از خمیر کاغذهای شیمیایی از ساقه کلزا بیشتر از کاغذ شیمیایی - مکانیکی از ساقه ذرت [۲۳]، و کمتر از NSSC از ساقه کلزا [۲۱]، سودا - آتراكینون از ساقه کلزا [۲۲] و کرافت - آتراكینون (کم قلیایی) از کاه گندم [۲۹] اندازه‌گیری شده است. البته نتیجه‌های به دست آمده دور از انتظار نمی‌باشد. زیرا در مورد کاغذهای شیمیایی - مکانیکی به‌ویژه از ساقه کلزا به علت اعمال نیروهای مکانیکی در مرحله جداسازی الیاف و هم چنین ماهیت ماده ای که حاوی مقدار زیادتری سلول‌های آوندی و پارانشیمی است، معمولاً ویژگی‌های مقاومتی پایین‌تر می‌باشد. در اثر پالایش، اغلب ویژگی‌های مقاومتی تا حدود ۵۰٪ مقدار اولیه افزایش یافته و در مورد کاغذ P۶ افزایش از ۲۶/۱۳ N.m/g به ۳۵/۱۹ N.m/g دیده شد و فقط افزایش زیادی در شاخص مقاومت در برابر پاره شدن دیده نشد.

### نتیجه‌گیری

فراوانی پسماند کلزا و عدم قابلیت استفاده از آن به عنوان خوراک دام، کاربرد آن را در صنایع تبدیلی (از آن جمله صنعت تولید کاغذ)

### مراجع

- [1] McKeen W.S., Jacobs R.S., "Wheat Straw as Paper Fiber Source", Unpublished Report, Washington Clean Center (1997).
- [2] Pande H., Non-Wood Fiber and Global Fiber Supply, *Unasylya*, **193**, p. 9 (2009).
- [3] McCoskey J.T., What about Non-Woods. In Proc. Tappi Global Fiber Supply Symposium. Pp:95-106. Tappi Press. Atlanta GA, USA (1995).
- [4] Pan X.P., Leary G.J., Alkaline Peroxide Mechanical Pulping of Wheat Straw. Part 1: Factors Influencing the Brightness Response in Impregnation., *Tappi Journal Peer-Reviews Paper*, 9 Pages (2001).
- [5] Xu E.C., Rao N.N., APMP (Alkaline Peroxide Mechanical Pulps from Non wood Fibers. Part 3: Bagasse. In Proceeding of the Tappi 2001 Pulping Conference, 8 pages (2001).

- [6] Navaee S., Fatehi P., Influence of Rice Straw Cooking Conditions on Pulp Properties in the Soda- AQ -Ethanol Pulping. In Proc. 2005 Int.Conf. Simulation and Modeling.5 Pages (2005).
- [7] Lewis M., Jackson M., "Nalgrass : A Nonwood Fiber Source Suitable for Existing US Pulp Mills. Reprinted from Trends in New Crop and New Uses", ASHS Press, Alexandria, Va. pp. 371-376 (2002).
- [8] Dinesh M., Dibyen du N., Phil W., Refiner Mechanical Pulp from Kenaf for Newsprint Manufacture, *Tappi J.*, **3**(4), p. 9 (2004).
- [9] Chen R., Wang I.C., Ku Y.C., Chemimechanical Pulping of Rice Straw (1) Liquid - Phase Cooking, *China Forest Research Journal*, **12**(3), p. 235 (1997).
- [10] Kristova P., Kordsachia O., Khider T., Alkaline Pulping with Additives of Date Palm Branches and Leaves from Sudan, *Bioresources Technology*, **9**, p. 79 (2005).

[۱۱] صالحی، ک.؛ "بررسی و تعیین ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی مکانیکی بازده بالا از باگاس. پایان نامه کارشناسی ارشد"، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گرگان، ۱۱۷ص، (۱۳۷۷).

[۱۲] رودی، ح.؛ "بررسی تولید خمیر کاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی از ساقه آفتابگردان و ارزیابی آن به منظور تولید کاغذ کنگره‌ای در صنایع چوب و کاغذ مازندران"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۵ ص (۱۳۸۱).

[۱۳] سراییان، ا.؛ "بررسی امکان تولید خمیر کاغذ پر بازده سفید با روش مکانیکی پراکسید قلیایی (APMP) از کاه گندم خراسان"، رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۲۸ ص، (۱۳۸۲).

[۱۴] سفیدگران، ر.؛ "بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ کلزا به روش سودا"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۰ص، (۱۳۸۲).

[۱۵] مرادیان، م. ه.؛ جهان لیبیاری، ا.؛ رسالتی، ح.؛ فخریان، ع.؛ بررسی تولید خمیر کاغذ CMP از کاه گندم، مجله منابع طبیعی ایران، (۴) ۵۶، ص. ۴۶۹ (۱۳۸۲).

[۱۶] رسالتی، ح.؛ پطروودی، س. ر.؛ بررسی تولید کاغذ روزنامه از خمیر کاغذ شیمیایی باگاس و خمیر کاغذ CMP پهن برگان. نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران. چکیده الکترونیکی مقالات. WWW.ECHEMICA.COM، (۱۳۸۳).

[۱۷] فخریان، ع.؛ گلبابائی، ف.؛ حسین خانی، ح.؛ صالحی، ک.؛ بررسی تولید خمیر کاغذ حاصل از ذرت دانه‌ای با روش CMP و APMP، دوفصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. (۲) ۲۲، ص. ۱۵۵ (۱۳۸۶).

[۱۸] جهان لیبیاری، ا.، حسینی، ا.؛ رسالتی، ح.؛ فخریان روغنی، ع.؛ تعیین شرایط بهینه پخت خمیر کاغذ از کاه گندم به روش NSSC برای ساخت کاغذ کنگره‌ای، مجله منابع طبیعی ایران، (۴) ۵۹، ص. ۹۰۳ (۱۳۸۵).

- [۱۹] حجازی، س.؛ جهان لتیباری، ا.؛ رودلف، ک.؛ پارسا پزوه، د.؛ چیرنر، ا.؛ بررسی رنگبری خمیر کاغذ سودا از کاه گندم با روش کاملاً بدون کلر (TCF)، مجله منابع طبیعی ایران، دانشگاه تهران، (۴) ۵۹، ص. ۹۳۵ (۱۳۸۵).
- [۲۰] حمصی، ا.ه.؛ پیروز، م.؛ میرشکرایبی، س.ا.؛ بررسی ویژگی های خمیر کاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی از ساقه کلزا، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، (۴) ۱۲، ص. ۹۲۵ (۱۳۸۵).
- [۲۱] احمدی، م.؛ جهان لتیباری، ا.؛ فائزی پور، م.؛ حجازی، س.؛ ارزیابی ویژگی های مقاومتی خمیر کاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی از ساقه کلزا، نشریه جنگل و فرآوری چوب دانشکده منابع طبیعی، (۲) ۶۲، ص. ۱۳۳ (۱۳۸۸).
- [۲۲] مظهری موسوی، س.م.؛ مهدوی، س.؛ حسینی، س.ض.؛ رسالتی، ح.؛ یوسفی، ح.؛ بررسی ویژگی های خمیر کاغذ تولید شده به روش سودا- آنتراکینون از ساقه کلزا، تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، (۱) ۲۴، ص. ۶۹ (۱۳۸۸).
- [۲۳] درویش قدیم، ف.؛ جهان لتیباری، ا.؛ سپیده دم، س.م.ج.؛ تاجدینی، آ.؛ مرادبک، ا.؛ بررسی ویژگی های خمیر پربازده از ساقه ذرت دانه ای، فصلنامه تخصصی علوم و فنون منابع طبیعی، (۴) ۳، ص. ۲۷ (۱۳۸۷).
- [۲۴] ملائی، م.؛ عنایتی، ع.؛ همزه، ی.؛ میرشکرایبی، س.؛ بررسی تولید خمیر کاغذ به روش سودا- آنتراکینون از پسماند کلزا، تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، (۲) ۲۳، ص. ۵۴ (۱۳۸۷).
- [۲۵] حسین پور، ر.؛ "بررسی تولید خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی رنگبری شده (BCMP) از پسماند کلزا"، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج. ۴۲۰ ص (۱۳۸۸).
- [26] "Tappi Standard Test Methods", Tappi Press, Atlanta, Ga. USA (2009).
- [27] Guay D., Sutherland N.R., Rantanen W., Malandri N., Stephens A., Mattingly K., Schneider M., Comparison of Fiber Length Analyzer Over a Range of Fiber Types. 2005 Tappi Practical Paper Making Conference [electronic resource]: May 22-26, 2005. Milwaukee, Wisconsin. Tappi Press. Atlanta: Ga. 30 pages (2005).
- [۲۸] حمصی، ا.ه.؛ ثمریها، ا.؛ بررسی اثر پالایش بر خواص مقاومتی کاغذ حاصل از باگاس به روش NSSC، مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، (۳) ۱۱، ص. ۶۹ (۱۳۸۴).
- [29] Ates S., Atik C.N.Y., Gumuskaya E., Comparison of different Chemical Pulps from Wheat Straw and Bleaching with Xylanase. Pre - Treated ECF Method, *Turk. J. Agri: For*, **32**, p. 561 (2008).
- [30] Robertson G., Olsan J., Allen P., Chan B., Seth R., Measurement of Fiber Length, Coarseness and Shape with the Fiber Quality Analyzer, *Tappi J.*, **82** (10), p. 93 (1999).