علـوم محـیـطی سال هشتم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۰
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.8, No.4, Summer 2011
۱۰-۱

تولید خمیرکاغذ از کاه گندم با روش سازگار با محیط زیست هیدروکسید پتاسیم

سید مجید ذبیح زاده*[۱]، محمد تقی اسدالله زاده[۲]، مریم احمدی[۲]، حسین کرمانیان[۳]

۱- *استادیار گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری*

۲- *دانشجوی کارشناسی ارشد گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده جنگلداری و فناوری چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*

۳- *استادیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، دانشگاه شهید بهشتی*

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۲۲

چکیده

هدف این مطالعه توسعه فرآیندی جدید برای تولید خمیرکاغذ با استفاده از کاه گندم است. خمیر کاغذهای سازگار با محیط‌زیست با هیدروکسیدپتاسیم از کاه گندم تهیه و خواص مکانیکی و نوری آن‌ها بررسی شد. خمیرکاغذسازی با قلیای فعال ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد و زمان پخت ۶۰ و ۹۰ دقیقه انجام شد. نسبت مایع پخت به کاه، زمان رسیدن به دمای بیشینه پخت و دمای پخت، ثابت در نظر گرفته شد. افزایش قلیای فعال، بازده و عدد کاپای خمیرکاغذها را کاهش داد. خمیرکاغذهای شیمیایی با بازده ۵۳/۷۳-۴۸/۷۱ درصد تولید شده با فرآیند هیدروکسید پتاسیم، ویژگی‌های کاغذسازی قابل قبول و مشابه فرآیند سودا نشان دادند. با پالایش خمیرکاغذها، شاخص مقاومت کششی، طول پاره‌شدن و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای دست ساز، افزایش یافت. شاخص مقاومت در برابر پاره شدن و درجه روشنی خمیرکاغذهای پالایش شده کمتر از خمیرکاغذهای پالایش نشده بود. مایع پخت سیاه این فرآیند می‌تواند به عنوان کود برای تولید فرآورده‌های کشاورزی استفاده شود.

کلیـد واژه‌هـا: خمیرکاغذسـازی سـازگار بـا محـیط‌زیسـت، هیدروکسید پتاسیم، خواص مکانیکی، درجه روشنی.

Environmentally Friendly Wheat Straw Pulping with KOH

Seyed Majid Zabihzadeh,[1*] Mohammad Taghi Asadollahzade,[2] Maryam Ahmadi[2] and Hossein Kermanian[3]

1- Assistant professor, Department of Wood and Paper Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2- MSc. Student, Department of Pulp and Paper Technology, Faculty of Forestry and Wood Technology, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University

3- Assistant professor, Department of Pulp and Paper Technology, Faculty of New Technologies and Energy Engineering, Shahid Beheshti University

Abstract

The objective of this study is to develop a new process for the production of pulp using the wheat straw. Environmentally-friendly wheat straw pulp with potassium hydroxide was prepared, and their mechanical and optical properties were studied. Pulping tests were carried out varying active alkali (16, 18 and 20 wt %) and cooking time (60 and 90 min). Liquor-to-solid ratio, time to reach the maximum temperature and the cooking temperature were kept constant. The increase in active alkali significantly reduced the yield and kappa number of the pulp. Chemical pulps of 48.71–53.73% yield produced from the KOH pulping process exhibited acceptable papermaking properties comparable to those of soda pulp. Refining the pulps increased the tensile index, breaking length, and burst index of the handsheets. The tear index and brightness were lower for refined pulp compared with the unrefined one. The black liquor of this process can be utilized as a fertilizer for agricultural production.

Keywords: Environmental pulping, KOH, Mechanical properties, Brightness.

* Corresponding author. *E-mail Address*: m.zabihzadeh@sanru.ac.ir

مقدمه

صنعت کاغذ به علت استفاده از منابع تجدید نشونده مانند سوخت‌های فسیلی برای تأمین انرژی، استفاده از منابع تجدید شونده مانند مواد خام سلولزی و دفع آلاینده‌های هوا و گازهای گلخانه‌ای، پساب و پسماندهای جامد، سهم زیادی در ایجاد مشکلات و نگرانی‌های زیست‌محیطی دارد. توسعه این صنعت در صورت عدم سازگاری با محیط‌زیست می‌تواند سبب تخریب و نابودی جنگل‌ها و منابع طبیعی و دفع آلاینده‌های زیانبار به محیط زیست گردد.

جنگل‌های صنعتی و تجاری شمال، زراعت چوب، بازیافت کاغذ و پسماندهای کشاورزی مانند باگاس، کاه گندم و کلش برنج مهم‌ترین مواد اولیه لیگنوسلولزی قابل استفاده در صنایع کاغذ کشور می‌باشند. استفاده از پسماندهای کشاورزی دارای مزایای زیست‌محیطی مانند کاهش فشار بر منابع جنگلی، جلوگیری از سوزاندن بقایای گیاهی و جلوگیری از فرسایش خاک و کاهش مواد مغذی آن است. استفاده از این مواد خام دارای مزایای اقتصادی مانند افزایش درآمد کشاورزان و تقویت اقتصاد محلی می‌باشد.

در کشورهایی که با کمبود منابع چوبی مواجه هستند، از کاه غلات در صنایع خمیرکاغذ و کاغذ استفاده می‌شود(Oinonen & Koskivirta, 1999). طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳، تولید خمیرکاغذ از منابع چوبی و منابع غیرچوبی به ترتیب ۴ درصد و ۱۰ درصد افزایش داشته است (Rodriguez *et al.*, 2008). نرخ رشد ۱۰ درصدی استفاده از گیاهان غیر چوبی برای تولید خمیرکاغذ، اهمیت آن‌ها را در صنعت کاغذ نشان می‌دهد. مشکل اصلی استفاده گسترده از گیاهان غیرچوبی در صنعت کاغذسازی، آلودگی زیست‌محیطی ناشی از مایع پخت سیاه می‌باشد. توسعه فناوری‌های جدید تولید خمیرکاغذ، روشی مؤثر برای حل مشکل آلایندگی مایع پخت سیاه می باشد(Huang *et al.*, 2008). مایع پخت سیاه حاصل از فرآیند سودا که روشی متداول برای تولید خمیرکاغذ از گیاهان غیرچوبی می‌باشد، غنی از سدیم است. وجود مقدار زیاد سدیم به علت کاهش نفوذپذیری خاک، استفاده از مایع پخت سیاه را به عنوان کود برای مصارف کشاورزی با محدودیت مواجه می‌کند. اگر در فرآیند پخت، پتاسیم جایگزین سدیم شود، مایع پخت سیاهی به دست می‌آید که کودی با مقدار زیاد پتاسیم خواهد بود (Xiao, 2005).

بررسی سینتیک تهیه خمیرکاغذ از کاه گندم با محلول آبی هیدروکسیدآمونیوم - هیدروکسید پتاسیم نشان داد که در این فرآیند لیگنین‌زدایی به طور مؤثری انجام می‌شود و مایع پخت سیاه حاصل حاوی عناصر مغذی مانند نیتروژن، پتاسیم و لیگنین آمونیاک‌دار می‌باشد. (Huang *et al.*, 2006). از این رو، مایع پخت سیاه حاصل می‌تواند به عنوان کود برای مصارف کشاورزی استفاده شود و اثر آلایندگی آن کاهش یابد. مطالعه تولید خمیرکاغذ از کاه گندم با مایع پخت هیدروکسید پتاسیم- سولفیت پتاسیم- آنتراکینون ($KOH-K_2SO_3-AQ$) نشان داد که مزیت اصلی این فرآیند وجود موادی مانند پتاسیم و لیگنین درمایع پخت سیاه است که می‌توان از آن به عنوان کود کشاورزی استفاده نمود (Qi-Pei *et al.*, 2006). مایع پخت سیاه حاصل از فرآیند تولید خمیرکاغذ از باگاس با روش سازگار با محیط زیست هیدروکسید آمونیوم- هیدروکسید پتاسیم- آنتراکینون ($NH_4OH-KOH-AQ$) حاوی

موادی مانند نیتروژن، پتاسیم و لیگنین آمونیاک‌دار می‌باشد (Huang *et al.*, 2008). هدف از این تحقیق ارزیابی خواص خمیرکاغذ و اثر پالایش خمیرکاغذ بر خواص مکانیکی و نوری کاغذ حاصل از کاه گندم با روش سازگار با محیط‌زیست هیدروکسید پتاسیم است.

مواد و روش‌ها

تهیه خمیرکاغذ

به منظور امکان‌سنجی تولید خمیرکاغذ و کاغذ از کاه گندم با روش سازگار با محیط‌زیست هیدروکسید پتاسیم، نمونه‌برداری از مزارع شهرستان نور به صورت تصادفی انجام شد. نمونه‌ها در هوای آزاد تا رسیدن به رطوبت تعادل خشک شدند. نمونه‌های هوا خشک به صورت دستی به ابعاد ۳-۲ سانتی متر بریده شدند و پخت‌های آزمایشگاهی در سه سطح قلیایی فعال ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد و دو سطح زمان پخت ۶۰ و ۹۰ دقیقه انجام شد. دمای پخت، زمان آغشته‌سازی و نسبت مایع پخت به کاه به ترتیب ۱۷۰°c، ۳۰ دقیقه و ۸:۱ ثابت در نظر گرفته شد. پس از پایان هر پخت، بازده با روش توزین و عدد کاپای خمیرکاغذ بر اساس استاندرد T۲۳۶ om – ۹۹ آیین نامه TAPPI در سه تکرار اندازه‌گیری شدند.

ساخت کاغذ دست ساز و اندازه‌گیری خواص مکانیکی و نوری

به منظور ارزیابی خواص مکانیکی و نوری کاغذ حاصل از فرآیند هیدروکسید پتاسیم و اثر پالایش بر این خواص، کاغذهای دست ساز با وزن پایه اسمی ۶۰ g/m^2 از خمیرکاغذهای پالایش شده و پالایش نشده بر اساس روش T۲۰۵ -sp۹۵ آیین نامه TAPPI ساخته شدند. پالایش خمیرکاغذ، اندازه‌گیری درجه روانی و اندازه‌گیری خواص کاغذهای دست ساز بر اساس روش‌های مندرج در آیین‌نامه TAPPI به شرح زیر انجام شد:

- درجه روانی خمیرکاغذ T ۲۲۷ om–۹۹
- مقاومت در برابر کشش T ۴۰۴ cm–۹۲
- پالایش خمیرکاغذ T ۲۴۸ sp–۰۰
- مقاومت در برابر ترکیدن T ۴۰۳ om–۹۷
- مقاومت در برابر پاره شدن T ۴۱۴ om–۹۸
- درجه روشنی T۴۵۲ om–۹۸

نتایج

بازده خمیرکاغذ و عدد کاپا

جدول ۱ اثر قلیای فعال و دمای پخت را بر بازده و عددکاپای خمیر کاغذ حاصل از کاه گندم با فرآیند سازگار با محیط زیست هیدروکسید پتاسیم نشان می‌دهد. عدد کاپا معرف میزان لیگنین باقیمانده در خمیرکاغذ است و هر چه مقدار آن کمتر باشد، میزان لیگنین باقیمانده در خمیرکاغذ کمتر و رنگبری آن آسان تر است.

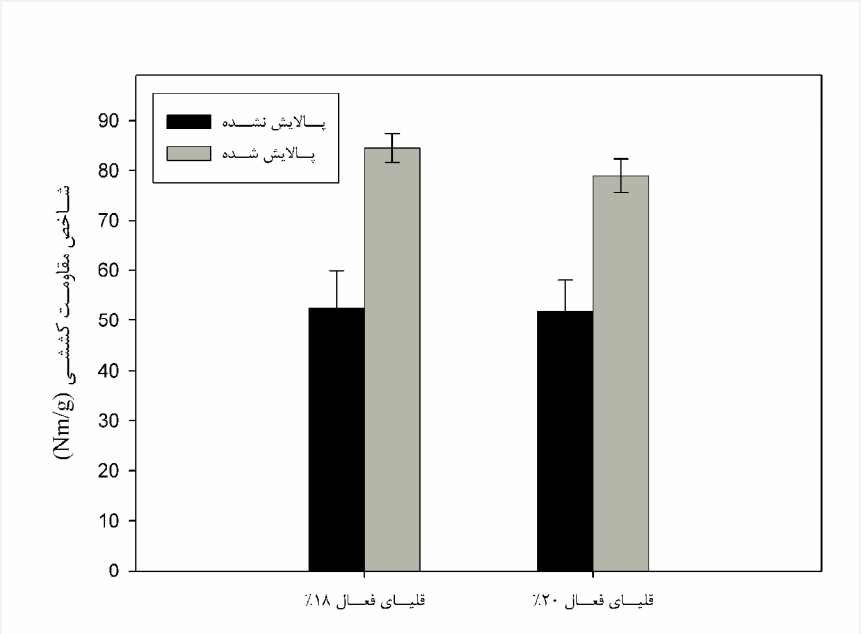
جدول ۱- اثر قلیای فعال و دمای پخت بر بازده و عددکاپای خمیر کاغذ

قلیای فعال (٪)	زمان پخت (°c)	بازده خمیرکاغذ(٪)	عدد کاپا
	۶۰	۵۳/۷۳	۴۲/۳۵
۱۶	۹۰	۵۳/۲	۴۱/۶۶
	۶۰	۵۱/۴۳	۳۶/۱۹
۱۸	۹۰	۵۱/۰۳	۳۶/۰۸
	۶۰	۴۹/۸۲	۳۰/۴۷
۲۰	۹۰	۴۸/۷۱	۲۶/۷۶

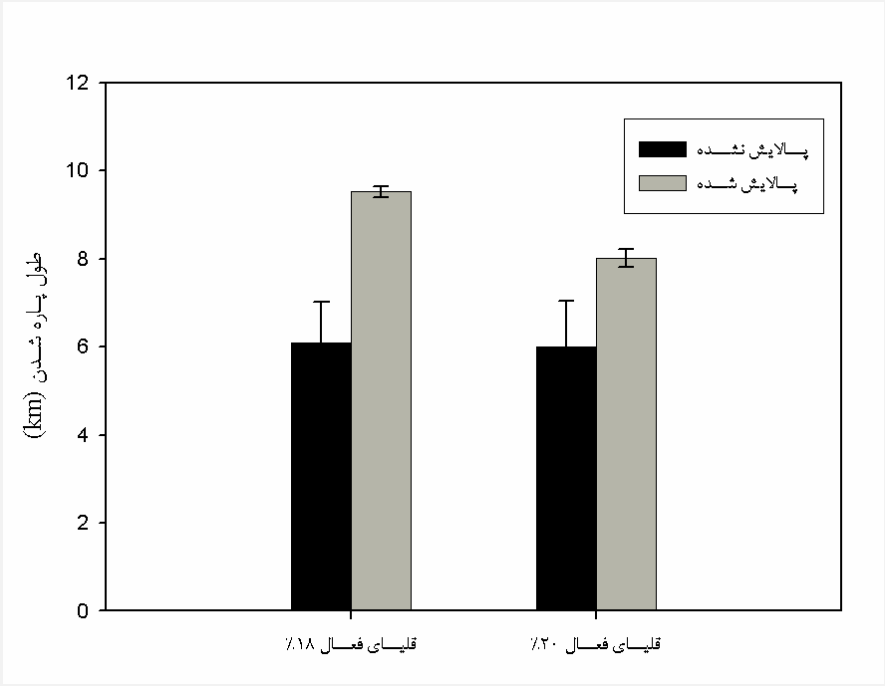
خواص مکانیکی و نوری کاغذ

شکل‌های ۱ تا ۳ اثر پالایش خمیرکاغذ را بر شاخص مقاومت کششی، طول پاره شدن و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن در دو سطح قلیایی ۱۸ و ۲۰ درصد نشان می‌دهند. مقاومت کششی، ویژگی بسیار مفیدی برای توصیف مقاومت کلی هر ماده است. مقاومت کششی کاغذ، حداکثر نیرو به ازای واحد عرض است که یک نوار کاغذ قبل از گسیختگی تحمل می‌کند، وقتی که جهت اعمال نیرو موازی با طول نمونه آزمونی باشد. مقاومت به ترکیدن، حداکثر فشاری است که کاغذ قبل از گسیختگی تحمل می‌کند، وقتی که فشار عمود بر صفحه نمونه آزمونی اعمال شود. از تقسیم مقاومت کششی و مقاومت در برابر ترکیدن به جرم پایه کاغذ، شاخص مقاومت کششی و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن به دست می‌آید. طولی از کاغذ که می‌تواند جرم خود را تحمل نماید، طول پاره شدن نام دارد.

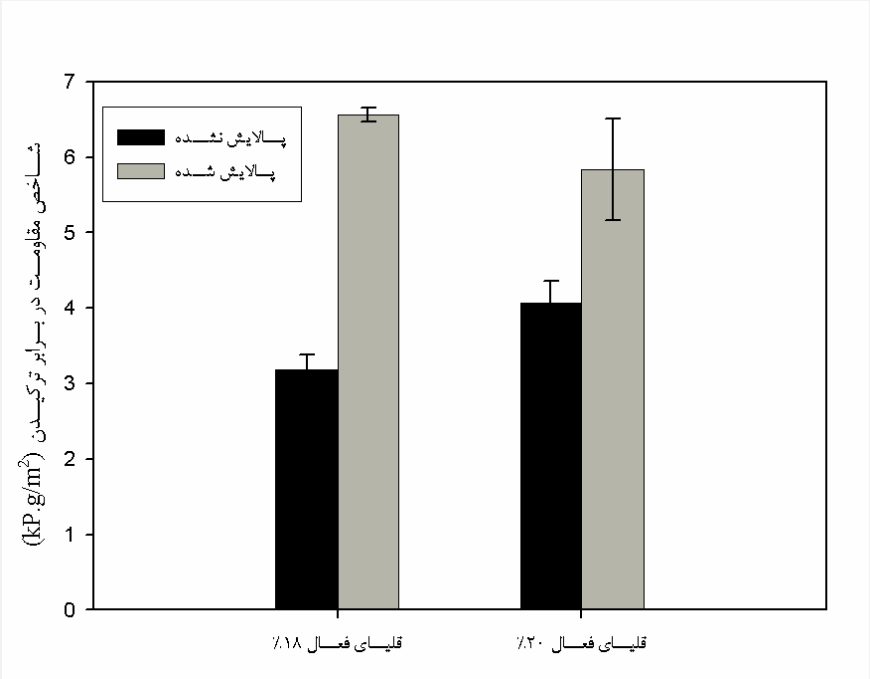
طول پاره شدن کاغذ از تقسیم شاخص مقاومت کششی به شتاب جاذبه به دست می آید. از این رو، رفتاری مشابه شاخص کششی در طی پالایش دارد و شکل ۲ نشان می دهد که در هردو سطح قلیایی، پالایش منجر به بهبود طول پاره شدن کاغذ شده است.



شکل ۱– اثر پالایش و قلیای فعال بر شاخص مقاومت



شکل ۲- اثر پالایش و قلیای فعال بر طول پاره شدن



شکل ۳- اثر پالایش و قلیای فعال بر مقاومت در برابر ترکیدن

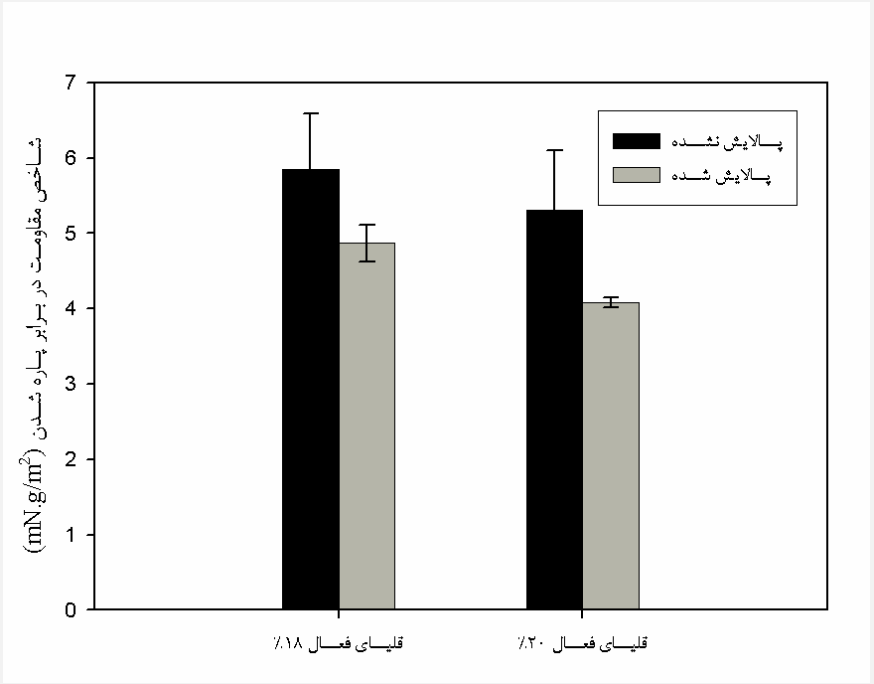
شکل‌های ۱ تا ۳ نشان می‌دهند که افزایش قلیای فعال از ۱۸ به ۲۰ درصد تاثیر محسوسی بر شاخص مقاومت کششی، طول پاره شدن و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن ندارد.

مقاومت در برابر پاره شدن، نیروی مورد نیاز برای ادامه پارگی کاغذ از یک بریدگی اولیه است. مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ به طول فیبر، مقاومت فیبر، میزان اتصال بین الیاف و میزان جهت‌گیری الیاف در کاغذ بستگی دارد. شکل ۴ نشان می‌دهد که پالایش خمیرکاغذ سبب کاهش شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ در هر دو سطح قلیای فعال ۱۸ و ۲۰ درصد شده است.

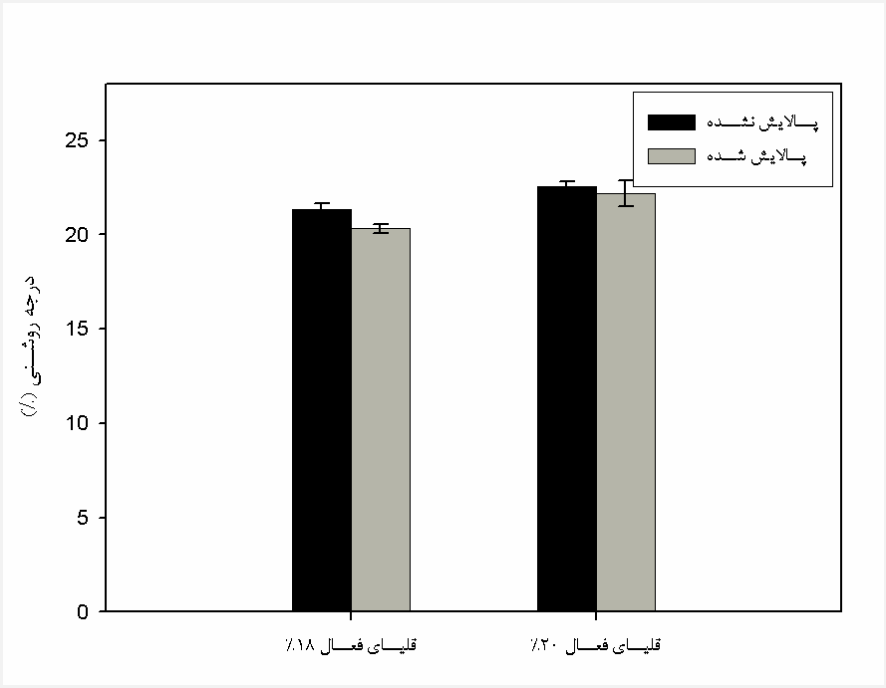
شکل ۵ اثر قلیای فعال و پالایش را بر درجه روشنی کاغذ نشان می‌دهد. درجه روشنی، انعکاس نور مریی آبی با طول موج ۴۵۷ nm از سطح کاغذ می‌باشد. بر اساس تئوری Kubelka-munk بین درجه روشنی، ضریب جذب نور و ضریب پخش نور رابطه زیر برقرار است (Sixta, 2006).

$$B \times 0.01 = 1 + k/s - \sqrt{(k/s)^2 + 2(k/s)}$$

که B درجه روشنی (٪)، K ضریب جذب نور (m^2/g) و S ضریب پخش نور (m^2/g) می‌باشند.



شکل۴- اثر پالایش و قلیای فعال بر شاخص مقاومت در برابر پاره شدن



شکل ۵- اثر پالایش و قلیای فعال بر درجه روشنی کاغذ

بحث

نتایج اندازه‌گیری بازده و عدد کاپای خمیرکاغذ نشان داد که با افزایش قلیای فعال از ۱۶ به ۲۰ درصد در زمان پخت ۶۰ دقیقه، بازده خمیر کاغذ ۳/۹۱ درصد و عدد کاپای آن حدود ۱۲ واحد کاهش یافته است. با افزایش غلظت ماده شیمیایی در مایع پخت، لیگنین‌زدایی وتخریب سلولز تسریع می‌شود. از این رو، عدد کاپا و بازده خمیرکاغذ کاهش می‌یابد (Qi-Pei *et al.*, 2006). در دو سطح قلیای فعال ۱۶ و ۱۸ درصد، افزایش زمان پخت از ۶۰ به ۹۰ دقیقه تاثیر محسوسی بر بازده و عدد کاپای خمیرکاغذ ندارد، ولی در قلیای فعال ۲۰ درصد، افزایش زمان پخت حدود یک درصد بازده خمیرکاغذ و حدود ۴ واحد عدد کاپای آن را کاهش داده است. بازده و عدد کاپای خمیرکاغذ سودای حاصل از کاه گندم با قلیای فعال ۱۶ درصد، دمای پخت °c ۱۷۰، زمان پخت ۶۰ دقیقه و نسبت مایع پخت به ماده جامد ۴:۱ به ترتیب ۴۷/۷ درصد و ۲۴/۵ گزارش شده است (Hedjazi *et al.*, 2009). بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ حاصل از فرآیند هیدروکسید پتاسیم در این تحقیق مشابه فرآیند سودا می باشد، ولی از نظر زیست‌محیطی فرآیند هیدروکسید پتاسیم بر فرآیند سودا ارجحیت دارد.

شاخص مقاومت کششی، طول پاره شدن و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن با ۲۵۰۰ دور پالایش خمیرکاغذ در پالایشگر آزمایشگاهی PFI Mill در هر دو سطح قلیایی افزایش می‌یابند. پالایش خمیر کاغذ

منجر به جدا شدن بخش‌هایی از دیواره اولیه الیاف سلولزی، فیبریله شدن خارجی و داخلی الیاف، حل شدن و خارج شدن مواد کلوییدی، توزیع مجدد همی‌سلولزها از داخل الیاف به بیرون آن و سایش سطح الیاف در مقیاس مولکولی و ایجاد سطح ژلاتینی می‌شود. در نتیجه اثرات فوق، بعد از پالایش الیاف پهن تر وانعطاف‌پذیر می‌شوند و سطح اتصال آن‌ها بیشتر می شود (Gullichsen & Paulapuro, 2000) . از این رو، مقاومت‌های مربوط به پیوند و اتصال بین الیاف شامل مقاومت کششی و مقاومت در برابر ترکیدن افزایش می یابند.

طول پاره شدن و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ حاصل از کاه گندم با فرآیند سودا به ترتیب ۷/۸۷ Km و ۴/۷۱ $Kpam^2/g$ گزارش شده است (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۵). نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از فرآیند هیدروکسید پتاسیم می‌توان کاغذی با خواص مکانیکی قابل رقابت با فرآیند سودا تولید نمود.

یکی از اثرات نامطلوب پالایش، برش و کوتاه شدن الیاف است (Gullichsen & Paulapuro, 2000). با توجه به این که طول الیاف، بیشترین تاثیر را بر مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ دارد، کاهش مقاومت در برابر پاره شدن بر اثر پالایش را می‌توان به کاهش طول الیاف نسبت داد. شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ حاصل از کاه گندم با فرآیند سودا ۴/۷۱ mNm^2/g گزارش شده است (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۵) که مشابه با شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ حاصل از خمیرکاغذ پالایش نشده ساخته شده در این تحقیق است.

افزایش قلیای فعال از ۱۸ به ۲۰ درصد منجر به کاهش شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ شده است. علت این پدیده را می‌توان به تخریب کربوهیدرات‌ها بر اثر افزایش غلظت هیدروکسیدپتاسیم در مایع پخت نسبت داد.

در هر دو سطح قلیای فعال ۱۸ و ۲۰ درصد، پالایش خمیرکاغذ منجر به کاهش اندکی در درجه روشنی کاغذ شده است. علت این پدیده با تئوری Kubelka-munk قابل تفسیر است. هر چه ضریب پخش نور بیشتر باشد، درجه روشنی بیشتر است. پالایش خمیرکاغذهای شیمیایی منجر به کاهش ضریب پخش نور و در نتیجه کاهش درجه روشنی کاغذ می‌شود. علت کم بودن درجه روشنی خمیرکاغذهای رنگبری نشده، جذب نور به وسیله گروه‌های رنگساز موجود در لیگنین است. افزایش قلیایی فعال از ۱۸ به ۲۰ درصد نیز منجر به بهبود درجه روشنی کاغذ شده است. علت این پدیده را می‌توان به افزایش غلظت یون هیدروکسید در مایع پخت و تسریع لیگنین زدایی نسبت داد. جدول ۱ نشان می‌دهد که در زمان پخت ۶۰ دقیقه، با افزایش مقدار هیدروکسید پتاسیم از ۱۸ به ۲۰ درصد، عدد کاپا حدود ۶ واحد کاهش یافته است. از این رو، مقدار لیگنین موجود در خمیرکاغذ ساخته شده با ۲۰ درصد قلیای فعال و جذب نور آن کمتر و درجه روشنی آن بیشتر است. درجه روشنی خمیرکاغذ سودای رنگبری نشده حاصل از کاه گندم با زمان پخت ۶۰ دقیقه، دمای پخت $160\ ^{\circ}c$، نسبت مایع پخت به ماده جامد ۶:۱ و قلیایی ۱۸ درصد، ۳۳/۷ درصدگزارش شده است (حجازی و همکاران، ۱۳۸۵) که بیشتر از درجه روشنی خمیرکاغذ رنگبری

نشـده حاصـل از فرآینـد هیدروکسـید پتاسـیم مـورد مطالعه در این تحقیق است. علـت ایـن پدیـده را مـی توان به کمتر بودن نسبت مایع پخت به مـاده جامـد و درنتیجه بیشتر بودن غلظـت یـون هیدروکسـید نسـبت داد که منجر به تسریع لیگنین‌زدایی می‌شود.

نتایج این مطالعه نشان داد که با استفاده از فرآینـد سازگار با محیط‌زیست هیدروکسیدپتاسیم می‌توان از کاه گندم خمیرکاغذ و کاغذی با ویژگی‌های مشـابه فرآیند سودا تولید نمـود. بـا توجـه بـه محـدود بـودن دوره برداشت کاه گندم و مشکلات جمع آوری این ماده اولیه، امکان نصب واحدهای تولید خمیرکاغذ و کاغذ با ظرفیت زیاد از این مـاده اولیـه وجـود نـدارد. نصب سیستم بازیابی مـواد شـیمیایی در واحـدهای بـا ظرفیت تولید کـم نیـز توجیـه اقتصـادی نـدارد. مـایع پخت سـیاه حاصـل از فرآینـد سـودا، غنـی از سـدیم اسـت. وجـود مقـدار زیـاد سـدیم بـه علـت کـاهش نفوذپذیری خاک، استفاده از مـایع پخـت سـیاه را بـه عنوان کود برای مصـارف کشـاورزی بـا محـدودیت مواجه مـی‌کنـد. مـایع پخـت سـیاه حاصـل از فرآینـد هیدروکسیدپتاسـیم حـاوی لیگنـین و پتاسـیم اسـت و می‌توانـد بـه عنـوان کـود بـرای تولیـد فـرآورده‌هـای کشاورزی استفاده شود.

منابع

Gullichsen, J. and H. Paulapuro (2000). Papermaking Science and Technology. Book 17. Fapet Oy. Jyvaskyla, Finland.

Hedjazi, S., A. Jahan Latibari, R. Patt, O. Kordsachia, D. Parsapajouh and U. Tschirner. (2007). Investigation on TCF Bleaching of Wheat Straw Soda Pulp. Journal of the Iranian Natural Resuorces, 59(4): 935-951.

Hedjazi, S., O. Kordsachia, R. Patt, A. Jahan Latibari and U. Tschirner (2009). Alkaline sulfite- anthraquinone (AS/AQ) pulping of wheat straw and totally chlorine free (TCF) bleaching of pulps. *Industrial Crops and Products*, 29(1): 27-36.

Huang, G., J. Shi and T.A.G. Langrish (2008). Environmentally friendly bagasse pulping with NH_4OH-KOH-AQ. Journal of Cleaner Production, 16(12): 1287-1293.

Huang, G., Z. Chengfang and C. Zhongsheng (2006). Pulping of Wheat Straw with Caustic Potash-Ammonia Aqueous Solutions and Its Kinetics. Chinese Journal of Chemical Engineering, 14(6) 729-733.

Mahdavi, S., M. Habibi and H. Kermanian (2006). Investigation of properties of ethanol-alkali, kraft and soda pulps prepared from wheat straw. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 21(2): 105-114.

Oinonen, H. and M. Koskivirta (1999). Special challenges of pulp and paper industry in Asian populated countries, like Indian sub-continent and China. pp:

14-16.In: Proceedings of the Paperex 99. 4th International conference on Pulp and Paper Industry: Emerging Technologies in the Pulp and Paper Industry. New Dehli, India.

Qi-pei, J., Z. Xiao-yong, M. Hai-tao and L. Zuo-hu. (2006). Cleaner Production of Wheat straw Pulp with Potash. Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, 20 (1):107-110.

Rodriguez, A., A. Moral, L. Serrona, J. Labidi and L. Jimemenz (2008). Rice straw pulp obtained by using various methods. Bioresource Technology, 99: 2881-2886.

Sixta, H. (2006). Handbook of pulp. Vol.2. WILEY-VCH Verlag GmbH &Co. KGaA, Weinheim.

Xiao, C. (2005). Black liquor from crop straw pulping as a potassium source and soil amendment. PhD Thesis, Department of Crop and Soil Sciences, Washington State University.