



علوم محیطی

علوم محیطی سال هشتم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۰  
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.8, No.4, Summer 2011

۱-۱۰

## تولید خمیر کاغذ از کاه گندم با روش سازگار با محیط زیست هیدروکسید پتاسیم

سید مجید ذبیح زاده<sup>۱\*</sup>، محمد تقی اسدالله زاده<sup>۲</sup>، مریم احمدی<sup>۳</sup>، حسین کرمانیان<sup>۳</sup>

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 پذیرش: ۹۰/۵/۲۲

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۵

### Environmentally Friendly Wheat Straw Pulping with KOH

Seyed Majid Zabihzadeh,<sup>1\*</sup> Mohammad Taghi Asadollahzade,<sup>2</sup> Maryam Ahmadi<sup>2</sup> and Hossein Kermanian<sup>3</sup>

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.

#### چکیده

هدف این مطالعه توسعه فرآیندی جدید برای تولید خمیر کاغذ با استفاده از کاه گندم است. خمیر کاغذهای سازگار با محیط‌زیست با هیدروکسید پتاسیم از کاه گندم تهیه و خواص مکانیکی و نوری آنها بررسی شد. خمیر کاغذسازی 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 خمیر کاغذها را کاهش داد. خمیر کاغذهای شیمیایی با بازده ۴۸/۷۱–۵۳/۷۳ درصد تولید شده با فرآیند هیدروکسید پتاسیم، ویژگی‌های کاغذسازی قابل قبول و مشابه فرآیند سودا نشان دادند. با پالایش خمیر کاغذها، 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 خمیر کاغذهای پالایش شده کمتر از خمیر کاغذهای پالایش نشده بود. مایع پخت سیاه این فرآیند می‌تواند به عنوان کود برای تولید فرآورده‌های کشاورزی استفاده شود.

**کلید واژه‌ها:** خمیر کاغذسازی سازگار با محیط‌زیست،

هیدروکسید پتاسیم، خواص مکانیکی، درجه روشنی.

\* 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 خمیر کاغذ و کاغذ استفاده می‌شود (Oinonen & Koskivirta, 1999). طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳، تولید خمیر کاغذ 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 خمیر کاغذ، 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 خمیر کاغذ، روشی مؤثر برای حل مشکل آلاینده‌گی مایع پخت سیاه می‌باشد (Huang et al., 2008). مایع پخت سیاه حاصل از فرآیند سودا که روشی متداول برای تولید خمیر کاغذ 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 خمیر کاغذ از کاه گندم با محلول آبی هیدروکسید آمونیوم - 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 آلاینده‌گی آن کاهش یابد. مطالعه تولید خمیر کاغذ از کاه گندم با مایع پخت هیدروکسید پتاسیم - سولفیت پتاسیم - آنتراکینون (KOH-K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>-AQ) نشان داد که مزیت اصلی این فرآیند وجود موادی مانند پتاسیم و لیگنین در مایع 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 خمیر کاغذ از باگاس با روش سازگار با محیط زیست هیدروکسید آمونیوم - هیدروکسید پتاسیم - آنتراکینون (NH<sub>4</sub>OH-KOH-AQ) حاوی

ساخته شدند. پالایش خمیر کاغذ، اندازه گیری درجه روانی و اندازه گیری خواص کاغذهای دست ساز بر اساس روش های مندرج در آیین نامه TAPPI به شرح زیر انجام شد:

- T ۲۲۷ om-۹۹ - درجه روانی خمیر کاغذ
- T ۴۰۴ cm-۹۲ - مقاومت در برابر کشش
- T ۲۴۸ sp-۰۰ - پالایش خمیر کاغذ
- T ۴۰۳ om-۹۷ - مقاومت در برابر ترکیدن
- T ۴۱۴ om-۹۸ - مقاومت در برابر پاره شدن
- T ۴۵۲ om-۹۸ - درجه روشنی

### نتایج

#### بازده خمیر کاغذ و عدد کاپا

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

#### جدول ۱- اثر قلیای فعال و دمای پخت بر بازده و

عدد کاپای خمیر کاغذ

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

موادی مانند نیتروژن، پتاسیم و لیگنین آمونیاک دار می باشد (Huang et al., 2008). هدف از این تحقیق ارزیابی خواص خمیر کاغذ و اثر پالایش خمیر کاغذ بر خواص مکانیکی و نوری کاغذ حاصل از کاه گندم با روش سازگار با محیط زیست هیدروکسید پتاسیم است.

### مواد و روش ها

#### تهیه خمیر کاغذ

به منظور امکان سنجی تولید خمیر کاغذ و کاغذ از کاه گندم با روش سازگار با محیط زیست هیدروکسید پتاسیم، نمونه برداری از مزارع شهرستان نور به صورت تصادفی انجام شد. نمونه ها در هوای آزاد تا رسیدن به رطوبت تعادل خشک شدند. نمونه های هوا خشک به صورت دستی به ابعاد ۳-۲ سانتی متر بریده شدند و پخت های 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 آغشته سازی 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 خمیر کاغذ بر اساس استاندارد T۲۳۶ om-۹۹ آیین نامه TAPPI در سه تکرار اندازه گیری شدند.

### ساخت کاغذ دست ساز و اندازه گیری خواص

#### مکانیکی و نوری

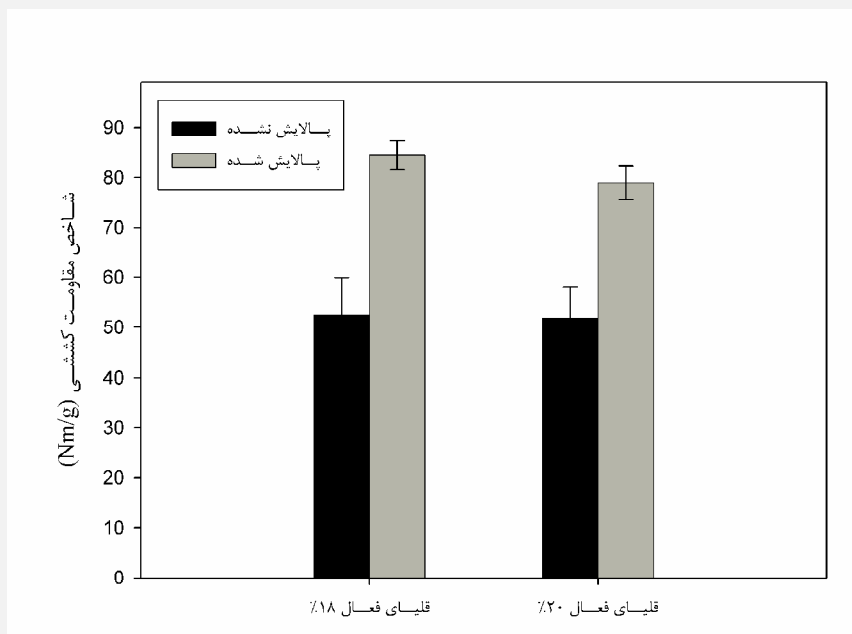
به منظور ارزیابی خواص مکانیکی و نوری کاغذ حاصل از فرآیند هیدروکسید پتاسیم و اثر پالایش بر این خواص، کاغذهای دست ساز با وزن پایه اسمی ۶۰ g/m<sup>2</sup> از خمیر کاغذهای پالایش شده و پالایش نشده بر اساس روش T۲۰۵-sp۹۵ آیین نامه TAPPI

### خواص مکانیکی و نوری کاغذ

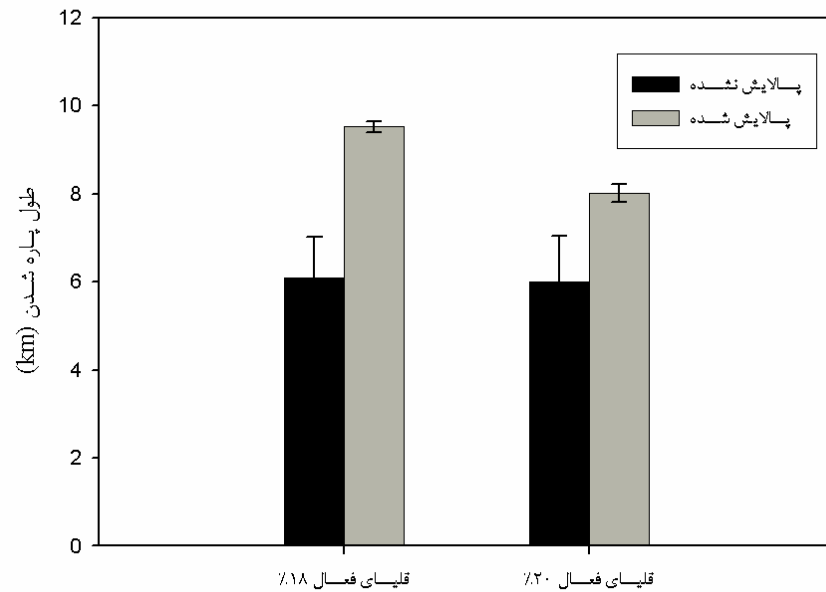
شکل‌های ۱ تا ۳ اثر پالایش خمیر کاغذ را بر شاخص مقاومت کششی، طول پاره شدن و شاخص مقاومت در برابر ترک‌کندن در دو سطح قلیایی ۱۸ و ۲۰ درصد نشان می‌دهند. مقاومت کششی، ویژگی بسیار مفیدی برای توصیف مقاومت کلی هر ماده است. مقاومت کششی کاغذ، حداکثر نیرو به ازای واحد عرض است که یک نوار کاغذ قبل از گسیختگی تحمل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

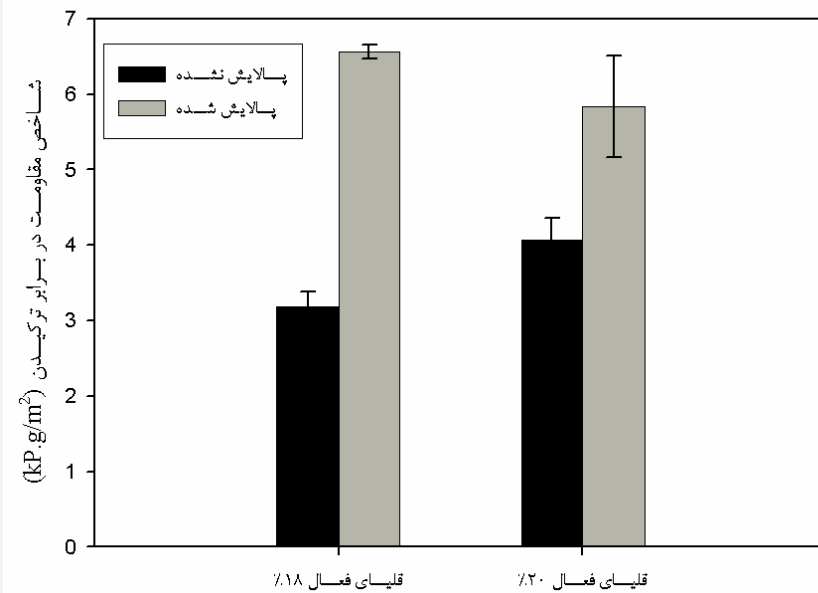
طول پاره شدن کاغذ از تقسیم شاخص مقاومت کششی به شتاب جاذبه به دست می‌آید. از این رو، رفتاری مشابه شاخص کششی در طی پالایش دارد و شکل ۲ نشان می‌دهد که در هر دو سطح قلیایی، پالایش منجر به بهبود طول پاره شدن کاغذ شده است.



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

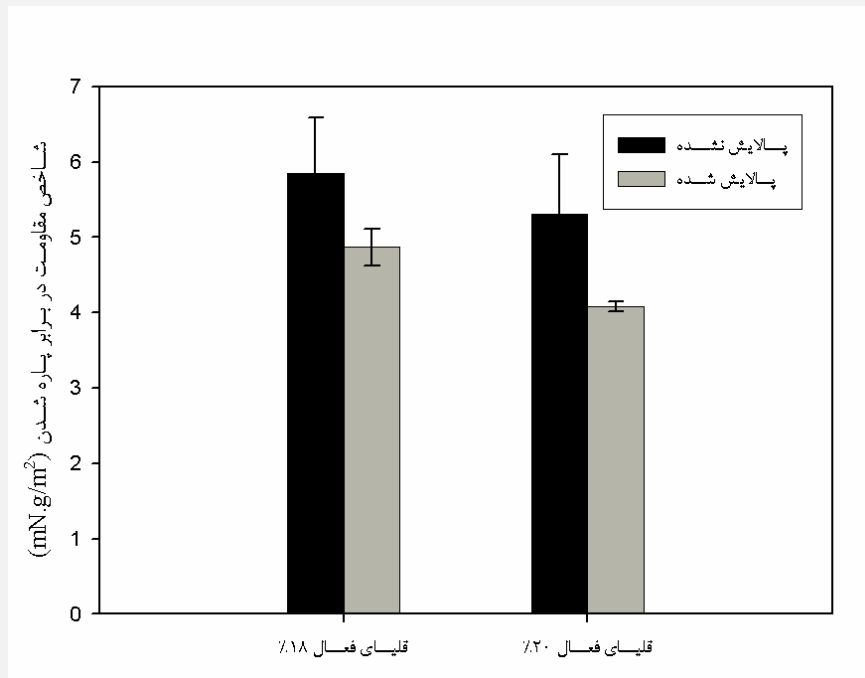
شکل ۵ اثر قلیای فعال و پالایش را بر درجه روشنی کاغذ نشان می‌دهد. درجه روشنی، انعکاس نور مرئی آبی با طول موج ۴۵۷ nm از سطح کاغذ می‌باشد. بر اساس تئوری Kubelka-munk بین درجه روشنی، ضریب جذب نور و ضریب پخش نور رابطه زیر برقرار است (Sixta, 2006).

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

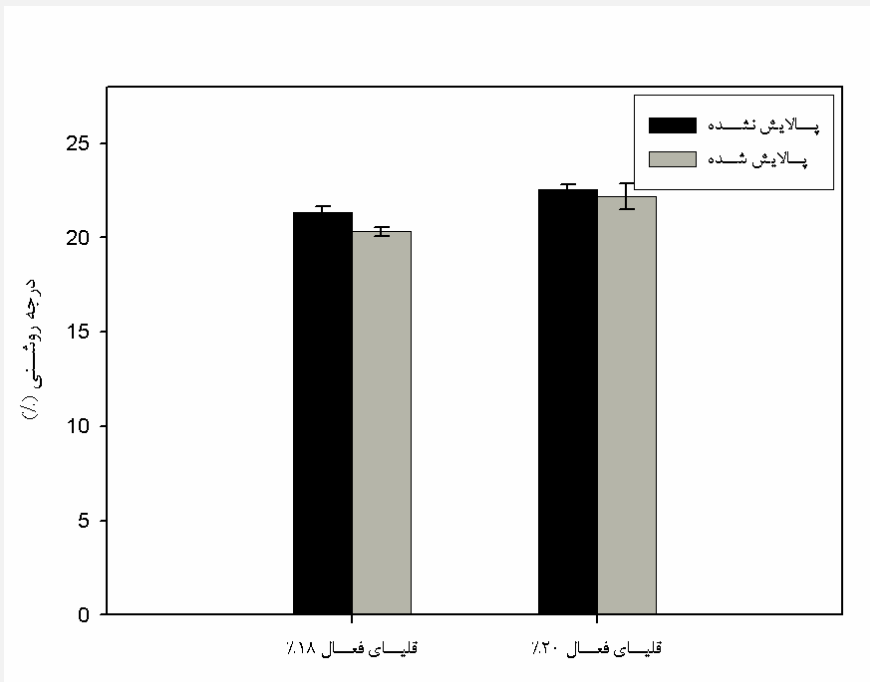
که B درجه روشنی (%)، K ضریب جذب نور ( $m^2/g$ ) و S ضریب پخش نور ( $m^2/g$ ) می‌باشند.

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 ترک‌کندن 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 خمیر کاغذ سبب کاهش شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ در هر دو سطح قلیای فعال ۱۸ و ۲۰ درصد شده است.



شکل ۴- اثر پالایش و قلیای فعال بر شاخص مقاومت در برابر پاره شدن



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

## بحث

کاهش داده است. بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ 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 زیست محیطی فرآیند هیدروکسید پتاسیم بر فرآیند سودا ارجحیت دارد. شاخص مقاومت کششی، طول پاره شدن و شاخص مقاومت در برابر ترکیدن با ۲۵۰۰ دور پالایش خمیر کاغذ در پالایشگر آزمایشگاهی PFI Mill در هر دو سطح قلیایی افزایش می یابند. پالایش خمیر کاغذ

نتایج اندازه گیری بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ 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، لیگنین زدایی و تخریب سلولز تسریع می شود. از این رو، عدد کاپا و بازده خمیر کاغذ کاهش می یابد (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 خمیر کاغذ ندارد، ولی در قلیای فعال ۲۰ درصد، افزایش زمان پخت حدود یک درصد بازده خمیر کاغذ و حدود ۴ واحد عدد کاپای آن را

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 خمیر کاغذ 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 خمیر کاغذهای شیمیایی منجر به کاهش ضریب پخش نور و در نتیجه کاهش درجه روشنی کاغذ می‌شود. علت کم بودن درجه روشنی خمیر کاغذهای 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 خمیر کاغذ ساخته شده با ۲۰ درصد قلیای فعال و جذب نور آن کمتر و درجه روشنی آن بیشتر است. درجه روشنی خمیر کاغذ سودای رنگبری نشده حاصل از کاه گندم با زمان پخت ۶۰ دقیقه، دمای پخت ۱۶۰ °C، نسبت مایع پخت به ماده جامد ۶:۱ و قلیایی ۱۸ درصد، ۳۳/۷ درصد گزارش شده است (حجازی و همکاران، ۱۳۸۵) که بیشتر از درجه روشنی خمیر کاغذ رنگبری

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 همی سلولزها 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 و انعطاف پذیر می‌شوند و سطح اتصال آن‌ها بیشتر می‌شود (Gullichsen & Paulapuro, 2000). از این رو، مقاومت‌های مربوط به پیوند و اتصال بین الیاف شامل مقاومت کششی و مقاومت در برابر ترکیدن افزایش می‌یابند.

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<sup>2</sup>/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<sup>2</sup>/g گزارش شده است (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۵) که مشابه با شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذ پالایش نشده ساخته شده در این تحقیق است.



- Journal of the Iranian Natural Resources, 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  $\text{NH}_4\text{OH-KOH-AQ}$ . *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:
- نشده حاصل از فرآیند هیدروکسید پتاسیم مورد مطالعه در این تحقیق است. علت این پدیده را می توان به کمتر بودن نسبت مایع پخت به ماده جامد و در نتیجه بیشتر بودن غلظت یون هیدروکسید نسبت داد که منجر به تسریع لیگنین زدایی می شود.
- نتایج این مطالعه نشان داد که با استفاده از فرآیند سازگار با محیط زیست هیدروکسید پتاسیم می توان از کاه گندم خمیر کاغذ و کاغذی با ویژگی های مشابه فرآیند سودا تولید نمود. با توجه به محدود بودن دوره برداشت کاه گندم و مشکلات جمع آوری این ماده اولیه، امکان نصب واحدهای تولید خمیر کاغذ و کاغذ با ظرفیت زیاد از این ماده اولیه وجود ندارد. نصب سیستم بازیابی مواد شیمیایی در واحدهای با ظرفیت تولید کم نیز توجیه اقتصادی ندارد. مایع پخت سیاه حاصل از فرآیند سودا، 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 می کند. مایع پخت سیاه حاصل از فرآیند هیدروکسید پتاسیم حاوی لیگنین و پتاسیم است و می تواند به عنوان کود برای تولید فرآورده های 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.

14-16.In: Proceedings of the Paperex 99. 4<sup>th</sup> 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. Jimenez (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.

