



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد هجدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۰

<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی تولید خمیر کاغذ سودا و سودا- آنتراکینون از کل ساقه کنف

*محمدتقی اسداله‌زاده^۱ و حسین رسالتی^۲

^۱دانشجوی کارشناسی‌ارشد صنایع خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲استاد گروه صنایع خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۸۸/۳/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۱۶

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تولید خمیرهای کاغذسودا و سودا- آنتراکینون از کل ساقه کنف رقم ۷۳۶ انجام گرفته است. به این منظور ویژگی‌های بیومتریکی الیاف پوست و مغز کنف، همچنین، ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ حاصل از فرآیندهای سودا و سودا- آنتراکینون در چهار غلظت هیدروکسید سدیم ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ گرم در لیتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج خمیرسازی نشان داد که در هر دو فرآیند سودا و سودا- آنتراکینون، بازده و عدد کاپای خمیرهای کاغذ حاصل با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم کاهش می‌یابد و در غلظت‌های بیشتر افت بازده شدیدتر است. شیب کاهش بازده در فرآیند سودا- آنتراکینون کمتر از سودا بود. در غلظت‌های مشابه، عدد کاپای خمیرهای کاغذ سودا- آنتراکینون کمتر از سودا و اما در عدد کاپا تقریباً برابر بازده خمیرهای کاغذ سودا- آنتراکینون بیشتر از خمیرکاغذ سودا بود. با تجزیه و تحلیل آماری، مشخص شد که اثرات مستقل و متقابل نوع فرآیند و غلظت هیدروکسید سدیم بر روی بازده و عدد کاپا، در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز نشان داد که دانسیته کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ سودا- آنتراکینون بیشتر از خمیرکاغذ سودا است، اما جدول تجزیه واریانس این اختلاف را معنی‌دار نشان نداد. خمیرکاغذ سودا- آنتراکینون در هر دو حالت پالایش شده و پالایش نشده

*مسئول مکاتبه: mtasadollahzade@gmail.com

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۱۸)، شماره (۴) ۱۳۹۰

مقاومت‌های مکانیکی بیشتری نسبت به خمیرکاغذ سودا دارد و برای مقاومت کششی در سطح ۱ درصد و مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده شد. از آن‌جا که ویژگی‌ای خمیرکاغذها در عدد کاپای تقریباً برابر ارزیابی شدند، بنابراین بین درجه روشنی کاغذهای حاصل از این دو فرآیند، اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: کنف، سودا، سودا-آنتراکینون، بازده، عدد کاپا

مقدمه

افزایش مصرف کاغذ و فرآورده‌های حاصل از آن و کمبود منابع چوبی جنگلی، کارخانه‌های تولید کننده خمیر و کاغذ را با مشکل تأمین مواد خام لیگنوسلولزی مواجه کرده است. از این رو، استفاده از گیاهان غیرچوبی به‌عنوان جایگزین بخشی از مواد چوبی، امری بدیهی است. تولید جهانی خمیرکاغذ از الیاف گیاهان غیرچوبی به‌طور متوسط حدود ۱۰ درصد و بالغ بر ۲۱ میلیون تن در سال می‌باشد. طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۳، تولید خمیرکاغذ از منابع چوبی و غیرچوبی به‌ترتیب ۴ درصد و ۱۰ درصد افزایش داشته است. نرخ رشد ۱۰ درصد استفاده از گیاهان غیرچوبی برای تولید خمیرکاغذ، اهمیت آن‌ها را در صنعت کاغذ نشان می‌دهد (احمدی و همکاران، ۲۰۰۸).

گیاهان غیرچوبی مورد استفاده در صنایع سلولزی را می‌توان به سه گروه تقسیم نمود، که عبارتند از: ۱- پسماندهای گیاهان کشاورزی مانند باگاس، کاه گندم و غیره، ۲- گیاهانی که برای تولید الیاف کشت می‌شوند مانند کنف^۱ و ژوت، ۳- گیاهان خودروی طبیعی مانند نی و خیزران. گیاه کنف (*Cannabinus L.*) از خانواده *Malvaceae* بوده که این خانواده هم به لحاظ گل‌پروری و هم اهمیت اقتصادی مورد توجه است و جنس آن *Hibiscus* نامیده می‌شود. این گیاه دو لپه دارد و دارای واریته‌های مختلفی می‌باشد (ناصری، ۲۰۰۵). بررسی‌های انجام شده در مورد کنف، به‌عنوان یکی از منابع لیگنوسلولزی نشان می‌دهد که این گیاه در بیشتر مناطق ایران قابل کشت است به‌طوری که در صورت نیاز می‌توان مقدار زیادی از این ماده را در اغلب نقاط ایران تأمین کرد (فائزی پور و همکاران، ۲۰۰۰). تحقیقات صورت گرفته در زمینه ترکیبات شیمیایی و خصوصیات بیومتریکی الیاف کنف نشان می‌دهد که این گیاه برای جبران کمبود چوب و جانشینی آن در صنایع کاغذسازی، از تمامی گیاهان

1- Kenaf

زراعی مناسب‌تر می‌باشد. تهیه خمیرکاغذ از کنف به دلیل خمیرسازی ساده‌تر و سریع‌تر، مصرف کمتر مواد شیمیایی در مرحله رنگ‌بری و خمیرسازی به دلیل کوتاه بودن سیکل پخت، کم بودن مراحل رنگ‌بری، نیاز به پالایش کمتر، کم بودن انرژی در مرحله خمیرسازی و در نهایت کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، بسیار مقرون به صرفه بوده و مورد توجه خاص است (فانزی پور و همکاران، ۲۰۰۰). ویلار^۱ و همکاران (۲۰۰۸) از پوست و مغز ساقه کنف به صورت جداگانه خمیرکاغذ کرافت تهیه کرده و با اختلاط الیاف پوست و مغز در نسبت‌های مختلف، تأثیر آن‌ها را بر روی ویژگی‌های کاغذهای حاصل بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که در نسبت بیشتر از ۳۴ درصد (نسبت مغز به پوست)، هیچ اثر نامطلوبی بر نفوذپذیری هوا در کاغذ پدید نمی‌آید. در همین نسبت مقاومت کاغذ نیز با شاخص پارگی قابل قبول ($19/8 \text{ mNm}^2/\text{g}$) و شاخص کششی بسیار خوب (72 Nm/g) حفظ شد.

خریستووا^۲ و همکاران (۲۰۰۲) از پوست، مغز و کل ساقه کنف رقم سودان^۳ با روش‌های سودا آنتراکینون^۴، سولفیت قلیایی آنتراکینون^۵ و سولفیت قلیایی آنتراکینون-متانول^۶ تحت شرایط مختلف، خمیرکاغذهایی با بازده و ویژگی‌های مکانیکی بسیار خوب تهیه کردند. در این پژوهش روش AS-AQ نسبت به فرآیندهای سودا و سودا- آنتراکینون برای بخش پوست و کل ساقه کنف با توجه به بازده، گرانی، درجه روشنی و ویژگی‌های مقاومتی بیشتر، بسیار مناسب گزارش شد. روش ASAM با توجه به لیگنین‌زدایی گزیننده‌تر همراه با بازده بیشتر، عدد کاپای کمتر و گرانی و درجه روشنی بیشتر منجر به تولید خمیرکاغذی با ویژگی‌های مقاومتی زیاد شد.

هارسنال^۷ (۱۹۹۷) ضمن بررسی لیگنین‌زدایی پوست، مغز و کل ساقه کنف به روش سودا در سه دما ۱۴۰، ۱۵۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، انرژی فعال‌سازی را برای تولید خمیرکاغذ از پوست، مغز و کل ساقه کنف به ترتیب ۶۸، ۹۲ و ۷۵ کیلوژول بر مول محاسبه کرد و گزارش نمود که در مقایسه با سوزنی‌برگان، انرژی فعال‌سازی واکنش لیگنین‌زدایی کنف بسیار کمتر می‌باشد.

1- J. C. Villar

2- P. Khristova

3- Sudan

4- Soda-anthraquinone

5- Alkaline sulfite-anthraquinone (AS-AQ)

6- Alkaline sulfite-anthraquinone-methanol (ASAM)

7- P. Harsnal

خوشبختانه در کشور ما نیز تحقیقات خوبی در زمینه بررسی تولید خمیر کاغذ از رقم‌های مختلف گیاه کنف انجام گرفته است. زینلی و همکاران (۲۰۰۸) تأثیر زمان پخت بر ویژگی‌های خمیر کاغذ سودای ساقه کنف را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که عدد کاپا، بازده، درجه روانی و نیز میزان پالایش برای رسیدن به درجه روانی مشخص، با افزایش زمان پخت به‌طور معنی‌داری کاهش و ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای حاصل با افزایش زمان پخت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، اما نرخ این افزایش با افزایش زمان پخت کاهش یافت، به‌طوری که در زمان پخت بیش از ۱۵۰ دقیقه، مقاومت کششی و ترکیدن ثابت مانده و مقاومت به پارگی کاهش یافت، بنابراین، بهترین زمان پخت را ۱۵۰ دقیقه گزارش کردند.

ناصری (۲۰۰۵) با بررسی ویژگی‌های خمیر کرافت حاصل از پوست کنف و امکان جایگزینی آن با خمیر الیاف بلند وارداتی در بهبود کیفیت کاغذ حاصل از خمیر CMP داخلی، گزارش کرد که بر اساس نتایج آزمایشگاهی، جایگزینی کامل خمیر کرافت پوست کنف با خمیر الیاف بلند وارداتی در بهبود کیفیت کاغذ CMP در محدوده قابل قبول و با توجه بیشتر اقتصادی امکان‌پذیر می‌باشد.

فائزی‌پور و همکاران (۲۰۰۰) با ارزیابی خصوصیات آناتومی، فیزیکی و شیمیایی پوست و مغز کنف، و همچنین ویژگی‌های خمیر و کاغذ حاصل از پوست، مغز و کل ساقه کنف با فرآیندهای سودا، سودا-آنتراکینون و کرافت در سه قلیائیت فعال ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد، به این نتیجه رسیدند که مغز گیاه کنف با توجه به ویژگی‌های ذاتی، به تنهایی برای تهیه خمیر کاغذ مناسب نیست ولی به‌دلیل جرم ویژه بسیار کم، می‌تواند در سایر صنایع، به ویژه تخته‌های اکوستیک به کار رود و پوست ساقه کنف به‌دلیل داشتن مقدار زیاد سلولز و الیاف بلند و مقدار کم مواد استخراجی و لیگنین برای کاغذسازی بسیار مناسب است. نتایج خمیرسازی نشان داد که بهترین روش تهیه خمیر کاغذ از کنف، فرآیند سودا-آنتراکینون در قلیائیت ۱۸ درصد می‌باشد.

بنابراین در راستا استفاده از این گیاه ارزشمند در صنایع کاغذسازی، لازم است تا ویژگی‌های خمیر و کاغذ حاصل از سایر رقم‌های این گیاه تحت شرایط مختلف خمیرسازی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین، از آن‌جا که یکی از عوامل بسیار مهم و خصوصیات ویژه مواد خام لیگنوسولزی برای تهیه خمیر و کاغذ، ویژگی‌های بیومتریکی الیاف آن است به‌این منظور، در این پژوهش، علاوه بر ارزیابی خصوصیات خمیر و کاغذ، ویژگی‌های بیومتریکی الیاف نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

کنف مورد استفاده در این پژوهش رقم ۷۳۶ بوده که بذر آن از کشور مالزی تهیه و در داخل محوطه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان کاشته شد. پس از قطع ساقه و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه نمونه‌های مورد نیاز جهت اندازه‌گیری ابعاد الیاف و تعیین درصد پوست و مغز و همچنین تهیه خمیرکاغذ آماده گردید. تهیه قطعات آزمونی برای اندازه‌گیری ابعاد الیاف به این ترتیب بود که برای حذف اثر ارتفاع، دیسک‌های به طول ۲ سانتی‌متر در سه ارتفاع ۱۰، ۵۰ و ۷۰ درصد طول ساقه به دست‌آمده و برای تعیین درصد پوست و مغز نیز ده ساقه با طول و قطرهای مختلف انتخاب و به پنج دسته دوتائی تقسیم شده و از هر ساقه دیسک‌های به طول ۲۰ سانتی‌متر در سه ارتفاع ۱۰، ۵۰ و ۷۰ درصد طول ساقه جدا شدند. در هر دو مورد بخش پوست از ساقه جدا شده و قسمت‌های پوست و مغز به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. بعد از تهیه مواد لازم برای آزمون‌های فوق، ساقه‌های باقی‌مانده برای تهیه خمیرکاغذ به قطعات ۲/۵-۲ سانتی‌متری تبدیل شدند. جهت تعیین درصد پوست و مغز، نمونه‌های به‌دست آمده از هر ساقه کاملاً خشک شدند و بعد از اندازه‌گیری وزن خشک پوست و مغز به‌طور جداگانه، درصد هر یک از آن‌ها با تقسیم بر وزن کل نمونه‌ها تعیین گردید. برای اندازه‌گیری ابعاد الیاف، ابتدا بخش پوست و مغز به‌طور جداگانه به قطعات نازکی (چوب کبریتی) تبدیل شده و با استفاده از روش فرانکلین و ابری شدند. طول و قطر الیاف به وسیله میکروسکوپ نوری با عدسی مدرج اندازه‌گیری شد.

به‌منظور تهیه خمیرکاغذ، ابتدا ساقه‌های کنف با قیچی باغبانی به قطعات ۲/۵-۲ سانتی‌متری تبدیل شدند و خمیرسازی از کل ساقه کنف (پوست و مغز) با فرآیندهای خمیرسازی سودا و سودا-آنتراکینون در چهار غلظت ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ گرم هیدروکسید سدیم در لیتر انجام شد. فرآیند خمیرسازی با استفاده از دیگ پخت ناپیوسته چرخان به گنجایش ۲/۵ لیتر انجام شد. دما بیشینه پخت، زمان پخت و مقدار مصرف آنتراکینون به‌ترتیب ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۲ ساعت و ۰/۱ درصد (براساس وزن خشک خرده‌های کنف) در نظر گرفته شدند. نسبت مایع پخت به خرده‌های کنف ۱۰ به ۱ و در هر سیلندر ۱۰۰ گرم از خرده‌های کنف بر مینا وزن خشک به خمیر تبدیل شدند. به‌علت کم بودن رطوبت خرده‌های کنف که سبب کاهش نفوذ مایع پخت می‌شود، این خرده‌ها قبل از پخت به‌مدت یک ساعت با مایع پخت قلیایی در حالت سرد آغشته‌سازی شد. خمیرها بعد از شستشو، با درصد

خشکی تقریباً برابر و زمان یکسان، توسط دفیبراتور آزمایشگاهی دفیبره شدند. بازده خمیر کاغذها با روش توزین و عدد کاپا بر اساس استاندارد تاپی^۱ به شماره T ۲۳۶-om۹۹ اندازه‌گیری گردید. ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و نوری کاغذهای دست‌ساز حاصل از دو فرآیند سودا و سودا-آنتراکینون در عدد کاپای تقریباً برابر (نزدیک به ۲۰) و به‌صورت پالایش شده و پالایش نشده ارزیابی شد. خمیرها توسط پالایشگر PFI mill و بر اساس استاندارد تاپی به شماره T ۲۴۸ sp-۰۰ تا رسیدن به درجه روانی حدوداً ۳۰۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی^۲ پالایش شدند (تمام خمیرها با دور پالایش یکسان ۲۵۰۰ دور به محدوده درجه روانی 310 ± 12 CSF رسیدند). سپس کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی با توجه به استاندارد تاپی شماره T ۲۰۵ sp-۰۲ تهیه شده و خواص آن‌ها شامل مقاومت کششی، ترکیدگی، مقاومت به پارگی، ضخامت، درجه روشنی و زردی به‌ترتیب براساس استانداردهای آئین‌نامه تاپی به شماره‌های T ۴۹۴ om-۰۱، T ۴۰۳ om-۰۲، T ۴۱۴ om-۰۴، T ۴۱۱ om-۰۵ و T ۴۵۲ om-۰۲ اندازه‌گیری گردید.

تجزیه و تحلیل آماری: مقایسه بازده و عدد کاپای خمیرها و مقایسه ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و نوری کاغذهای دست‌ساز حاصل با آزمون فاکتوریل دو عامله در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. بعد از تشکیل جدول تجزیه واریانس با توجه به معنی‌دار بودن فاکتورهای مستقل و متقابل، گروه‌بندی آن‌ها با آزمون LSD صورت گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های بیومتریکی و ضرائب کاغذسازی الیاف پوست، مغز و کل ساقه کنف به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. جدول ۱ نشان می‌دهد که ویژگی‌های بیومتریکی الیاف پوست کنف مشابه با الیاف سوزنی‌برگان و الیاف مغز کنف مشابه الیاف پهن‌برگان می‌باشد.

1- TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industries)
2- Canadian Standard Freeness (CSF)

جدول ۱- ویژگی‌های بیومتریکی الیاف پوست، مغز و ساقه کنف.

| ویژگی | پوست | مغز | کل ساقه* | انحراف معیار | |
|------------------------------|--------|--------|----------|--------------|-------|
| | | | | پوست | مغز |
| درصد وزنی | ۳۸/۱۵ | ۶۱/۸۴ | - | ۲/۲۵۱ | ۲/۲۵۱ |
| طول فیبر L (میلی‌متر) | ۲/۸۸۶ | ۰/۷۶۵ | ۱/۵۷۴ | ۰/۴۷۳ | ۰/۵۷۲ |
| قطر فیبر D (میکرون) | ۱۹/۶۳۷ | ۲۴/۵۲۲ | ۲۲/۶۵۶ | ۵/۵۱۴ | ۶/۲۵۹ |
| قطر حفره سلولی C (میکرون) | ۱۰/۰۸ | ۱۲/۴۷۶ | ۱۱/۵۶۱ | ۳/۸۲۶ | ۴/۷۵۶ |
| ضخامت دیواره فیبر P (میکرون) | ۴/۷۸۲ | ۶/۰۲۳ | ۵/۵۴۹ | ۱/۹۳۰ | ۱/۸۲۸ |

* کلیه قسمت‌های ساقه شامل پوست و مغز.

جدول ۲- ضرائب کاغذسازی الیاف پوست، مغز و کل ساقه کنف.

| ویژگی | میانگین | |
|------------------------------------|---------|--------|
| | پوست | مغز |
| ضریب درهم رفتگی L/D | ۱۴۶۹۶۸ | ۳۱/۱۹۷ |
| ضریب انعطاف‌پذیری $C/D \times 100$ | ۵۱/۳۳۲ | ۵۰/۸۷۷ |
| ضریب رانکل $2P/C \times 100$ | ۹۴/۸۸۱ | ۹۶/۵۵۴ |

فائزی پور و همکاران (۲۰۰۰) به این نتیجه رسیدند که بخش پوست ساقه کنف به دلیل ویژگی‌های مناسب از جمله وجود الیاف بلندتر، ضخامت دیواره کمتر، سلولز بیشتر و درصد لیگنین کمتر برای کاغذسازی بسیار مناسب است و استفاده از الیاف پوست منجر به تولید کاغذهای با کیفیت خوب و محکم و استفاده از الیاف مغز با وجود ویژگی‌های نامطلوب از جمله الیاف کوتاه‌تر، سلولز کمتر و لیگنین بیشتر نسبت به پوست منجر به تولید کاغذهای صاف‌تری خواهند شد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که تنها ۴۰-۳۵ درصد کل ساقه کنف را پوست تشکیل می‌دهد. در نتیجه، تنها در صورت استفاده از الیاف پوست در صنعت خمیر و کاغذ، بخش زیادی از گیاه کنف به هدر می‌رود، به علاوه جداسازی پوست از ساقه کنف مستلزم هزینه خواهد بود. بنابراین، در صورت خمیرسازی از کل ساقه کنف خصوصیات نامطلوب مغز توسط الیاف پوست جبران خواهد شد.

در جدول ۲ مشخص است که ضریب درهم رفتگی الیاف پوست بسیار بیشتر از الیاف مغز و کل ساقه کنف می‌باشد و از آن جا که ضریب درهم رفتگی عبارت است از نسبت طول فیبر به قطر کلی آن، بنابراین هر چه طول فیبر بلندتر باشد الیاف بهتر می‌توانند به هم بافته شوند و تعداد اتصالات یک

فیبر با فیبرهای مجاور بیشتر شده و شبکه گسترده‌تری را تشکیل می‌دهند که موجب افزایش مقاومت‌های مکانیکی کاغذ می‌شوند. ضریب انعطاف‌پذیری الیاف پوست نیز کمی بیشتر از الیاف مغز و کل ساقه می‌باشد که هر چه این ضریب بیشتر باشد مقاومت کاغذ در برابر گسیخته شدن، ترکیدن و تا خوردن بیشتر خواهد بود.

جدول ۳ بازده و عدد کاپای خمیر کاغذهای تولید شده با فرآیندهای سودا و سودا-آنتراکینون را نشان می‌دهد.

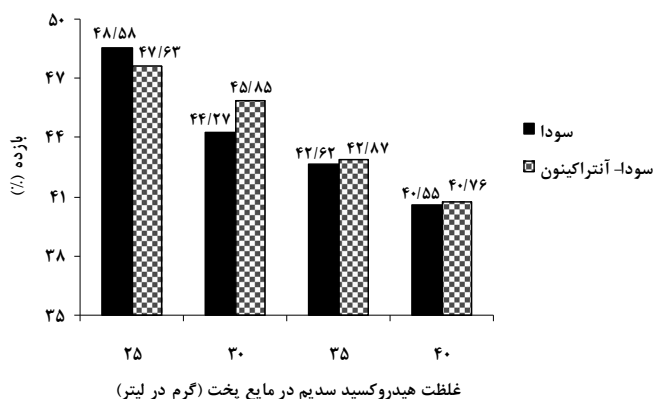
جدول ۳- بازده و عدد کاپای خمیر کاغذهای تولید شده.

| عدد کاپا | بازده (درصد) | شرایط پخت | | | تیمار | فرآیند خمیرسازی |
|----------|--------------|-----------------------------------|-----------------|---------------------------|-------|-----------------|
| | | غلظت هیدروکسید سدیم (گرم در لیتر) | زمان پخت (ساعت) | دما پخت (درجه سانتی‌گراد) | | |
| ۴۷/۱۸ | ۴۸/۵۸ | ۲۵ | ۲ | ۱۷۰ | ۱ | سودا |
| ۳۳/۱۹ | ۴۴/۲۷ | ۳۰ | ۲ | ۱۷۰ | ۲ | |
| ۲۷/۷۲ | ۴۲/۶۲ | ۳۵ | ۲ | ۱۷۰ | ۳ | |
| ۱۹/۳۶ | ۴۰/۵۵ | ۴۰ | ۲ | ۱۷۰ | ۴ | |
| ۳۴ | ۴۷/۶۳ | ۲۵ | ۲ | ۱۷۰ | ۵ | |
| ۲۸/۱۸ | ۴۵/۸۵ | ۳۰ | ۲ | ۱۷۰ | ۶ | سودا- |
| ۲۰/۲۲ | ۴۲/۸۷ | ۳۵ | ۲ | ۱۷۰ | ۷ | آنتراکینون |
| ۱۳/۲ | ۴۰/۷۶ | ۴۰ | ۲ | ۱۷۰ | ۸ | |

با تجزیه و تحلیل آماری بازده خمیر کاغذ، مشخص شد که اثرات مستقل و متقابل نوع فرآیند و غلظت هیدروکسید سدیم در مایع پخت، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. گروه‌بندی اثر مستقل غلظت هیدروکسید سدیم بر روی بازده خمیر کاغذ نشان می‌دهد که غلظت‌های ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد به ترتیب خمیرهایی با بازده ۴۷/۹، ۴۵/۴۷، ۴۲/۸۱ و ۴۰/۶۵ درصد تولید می‌کنند بنابراین واضح است که با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم که موجب افزایش سرعت لیگنین زدایی و تخریب پلی ساکاریدها می‌گردد، بازده خمیر کاغذ کاهش می‌یابد. جدول ۳ نشان می‌دهد که در غلظت‌های بیشتر افت بازده شدیدتر است و این امر می‌تواند به دلیل هیدرولیز قلیایی بیشتر پلی ساکاریدها و لیگنین در دما ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد باشد. گروه‌بندی اثر مستقل نوع فرآیند بر بازده خمیر کاغذ نشان می‌دهد که

فرآیندهای سودا و سودا- آنتراکینون به ترتیب خمیرهایی با بازده ۴۴/۰۵ و ۴۴/۳۸ تولید می‌نمایند. چنانچه مقایسه بازده در عدد کاپای تقریباً برابر صورت گیرد، بازده خمیرکاغذ سودا- آنتراکینون به‌علت نقش موثر ماده افزودنی آنتراکینون در گزینندگی^۱ لیگنین زدایی و پایدار کردن گروه‌های انتهایی احیا کننده پلی‌ساکاریدها بیشتر از خمیرکاغذ سودا است (جدول ۳).

اثر متقابل نوع فرآیند و غلظت هیدروکسید سدیم بر روی بازده با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم، صرف نظر از نوع فرآیند، بازده خمیرها کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود شیب کاهش بازده در فرآیند سودا- آنتراکینون کمتر از سودا است چون گزینندگی لیگنین زدایی در فرآیندهای گوناگون خمیرسازی متفاوت می‌باشد.

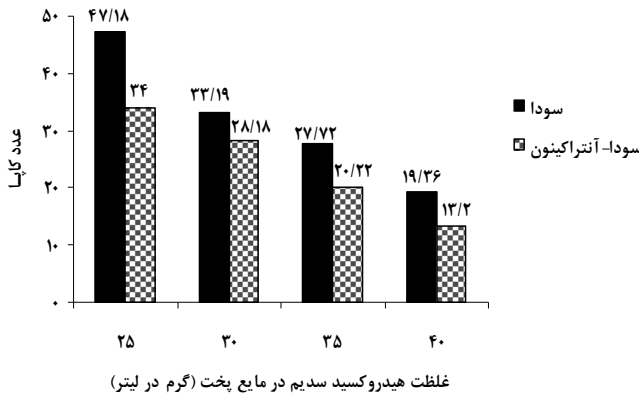


شکل ۱- اثر متقابل نوع فرآیند و غلظت هیدروکسید سدیم در مایع پخت بر روی بازده خمیر.

نتایج تحلیل آماری عدد کاپای خمیرکاغذها نشان می‌دهد که هم اثر مستقل و هم اثر متقابل نوع فرآیند و غلظت هیدروکسید سدیم بر روی عدد کاپا در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. آزمون‌های مقدماتی انجام شده در این پژوهش نشان داد که در غلظت ۲۵ درصد هیدروکسید سدیم، افزایش زمان پخت از ۱۲۰ دقیقه به ۱۵۰ دقیقه، تأثیر زیادی بر لیگنین‌زدایی نداشت. با توجه به کاهش pH مایع پخت سیاه‌علت احتمالی این پدیده، کافی نبودن ماده قلیایی برای لیگنین زدایی می‌باشد.

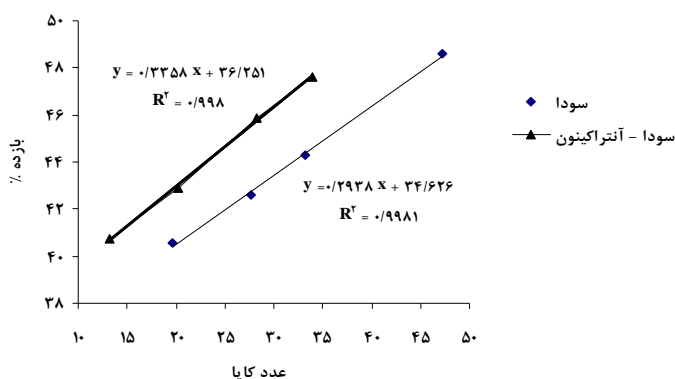
گروه‌بندی اثر مستقل غلظت هیدروکسید سدیم بر روی عدد کاپا نشان می‌دهد که غلظت‌های ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درصد به ترتیب دارای عدد کاپای ۴۰/۶، ۳۲/۴۱، ۲۴/۵۲ و ۱۶/۳۸ می‌باشند، از آن‌جا که در فرآیندهای سودا و سودا-آنتراکینون یکی از عوامل موثر بر واکنش‌های لیگنین زدایی غلظت هیدروکسید سدیم می‌باشد بنابراین مشخص است که با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم، سرعت واکنش‌های لیگنین زدایی افزایش و عدد کاپا کاهش می‌یابد.

گروه‌بندی اثر مستقل نوع فرآیند بر عدد کاپا نشان می‌دهد که فرآیندهای سودا و سودا-آنتراکینون، تحت شرایط موجود، به ترتیب خمیرهایی با عدد کاپای ۳۶/۰۸ و ۲۸/۹۴ تولید می‌نمایند که کمتر بودن عدد کاپا در فرآیند سودا-آنتراکینون به دلیل نقش موثر آنتراکینون در تسریع لیگنین زدایی می‌باشد. اثر متقابل نوع فرآیند و غلظت هیدروکسید سدیم بر عدد کاپا مشابه بازده است یعنی با افزایش غلظت هیدروکسید سدیم، صرف نظر از نوع فرآیند، عدد کاپا کاهش می‌یابد که علت آن غلظت بیشتر مواد شیمیایی و در نتیجه افزایش سرعت واکنش‌های لیگنین زدایی است (شکل ۲).



شکل ۲- اثر متقابل نوع فرآیند و غلظت هیدروکسید سدیم در مایع پخت بر روی عدد کاپا.

شکل ۳ رابطه بازده و عدد کاپای خمیرهای حاصل از دو فرآیند سودا و سودا-آنتراکینون و مدل رگرسیونی آن‌ها را نشان می‌دهد. در عدد کاپای تقریباً برابر، بازده خمیرهای حاصل از فرآیند سودا-آنتراکینون بیشتر از فرآیند سودا است، که علت آن می‌تواند نقش آنتراکینون در پایدار کردن گروه‌های انتهایی احیاکننده پلی‌ساکاریدها باشد که از واکنش لایه‌ای شدن آن‌ها جلوگیری می‌کند.



شکل ۳- رابطه بازده و عدد کاپای خمیر کاغذهای تولید شده.

به منظور داشتن خمیر قابل رنگبری و همچنین حذف اثر مقدار لیگنین بر ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذهای دست‌ساز، مقایسه خصوصیات فیزیکی، مقاومتی و نوری کاغذهای دست‌ساز حاصل، در اعداد کاپای تقریباً برابر و نزدیک به ۲۰ صورت گرفت. به این منظور، خمیرهای سودا و سودا-آنتراکینون با اعداد کاپای به ترتیب ۱۹/۳۶ و ۲۰/۲۲ در نظر گرفته شدند (جدول ۳). در ضمن، مقایسه این ویژگی‌ها برای کاغذهای دست‌ساز حاصل از دو فرآیند سودا و سودا-آنتراکینون در دو حالت پالایش نشده و پالایش شده انجام شد. درجه روانی قبل از پالایش خمیرهای سودا و سودا-آنتراکینون به ترتیب، ۴۸۸/۱۲ و ۵۰۲ (ml, CSF) می‌باشد سپس خمیرها با دور پالایش برابر ۲۵۰۰ دور به ترتیب به درجه روانی ۳۱۹ و ۲۹۸/۶۸ (ml, CSF) رسیدند. با توجه به درجه روانی بعد از پالایش این دو خمیر، مشخص است که پالایش‌پذیری خمیر سودا-آنتراکینون بهتر از خمیر سودا است، که علت آن را می‌توان پایداری بیشتر پلی‌ساکاریدها در خمیر سودا-آنتراکینون و وجود همی سلولزهای بیشتر دانست.

شکل‌های ۴ تا ۷ نشان می‌دهند که دانسیته و کلیه ویژگی‌های مقاومتی، به جز مقاومت به پارگی کاغذهای حاصل از خمیرهای پالایش شده بیشتر از خمیرهای پالایش نشده است. افزایش ویژگی‌های مقاومتی به دلیل اثر فیبریله شدن الیاف در عمل پالایش، افزایش سطح اتصال بین الیاف، اتصال بهتر الیاف و فشردگی بیشتر می‌باشد. اما، چون مقاومت به پارگی به طول الیاف وابسته است بنابراین با عمل برشی که در پالایش صورت می‌گیرد الیاف کوتاه شده و مقاومت به پارگی کاهش می‌یابد. نتایج تجزیه واریانس (جدول‌های ۴ تا ۷) نشان می‌دهند که بین دانسیته، شاخص مقاومت کششی و شاخص مقاومت به ترکیدن خمیر کاغذهای پالایش نشده و پالایش شده در سطح ۱ درصد و بین مقاومت به

پارگی خمیرکاغذهای پالایش نشده و پالایش شده در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. همچنین، دانسیته کاغذهای حاصل از خمیر سودا- آنتراکینون بیشتر از خمیر سودا است، اما جدول تجزیه واریانس این اختلاف را معنی‌دار نشان نداد.

جدول ۴- تجزیه واریانس دانسیته کاغذهای دست ساز.

| منبع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F محاسبه شده |
|---------------------|------------|--------------|----------------|--------------------|
| نوع فرآیند | ۱ | ۰/۰۰۲۵۸۱ | ۰/۰۰۲۵۸۱ | ۴/۹۸ ^{NS} |
| پالایش | ۱ | ۰/۰۵۴۹۴۵ | ۰/۰۵۴۹۴۵ | ۱۰۶ ^{**} |
| نوع فرآیند × پالایش | ۱ | ۰/۰۰۲۱۳۳ | ۰/۰۰۲۱۳۳ | ۴/۱۲ ^{NS} |
| خطا | ۸ | ۰/۰۰۴۱۴۶ | ۰/۰۰۰۵۱۸ | |
| کل | ۱۱ | ۰/۰۶۳۸۰۶ | | |

^{NS}: عدم معنی‌داری، ^{**}: اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد.

کلیه ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای حاصل از خمیر سودا- آنتراکینون بیشتر از خمیر سودا می‌باشد که دلیل آن می‌تواند درجه پلیمریزاسیون بیشتر زنجیرهای پلی‌ساکاریدی در خمیر سودا- آنتراکینون و همچنین پالایش‌پذیری بهتر این خمیرها باشد. در مورد ویژگی‌های مقاومتی، جدول‌های تجزیه واریانس نشان می‌دهند که بین مقاومت کششی خمیرکاغذهای سودا و سودا- آنتراکینون در سطح ۱ درصد و مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص مقاومت کششی کاغذهای دست ساز.

| منبع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F محاسبه شده |
|---------------------|------------|--------------|----------------|---------------------|
| نوع فرآیند | ۱ | ۰/۱۳۴۱۹۶ | ۰/۱۳۴۱۹۶ | ۱۱/۲۵ ^{**} |
| پالایش | ۱ | ۰/۹۷۷۵۵۲ | ۰/۹۷۷۵۵۲ | ۸۱/۹۷ ^{**} |
| نوع فرآیند × پالایش | ۱ | ۰/۰۰۰۹۹۰ | ۰/۰۰۰۹۹۰ | ۰/۰۸ ^{NS} |
| خطا | ۸ | ۰/۰۹۵۴۱۱ | ۰/۰۱۱۹۲۶ | |
| کل | ۱۱ | ۱/۲۰۸۱۵۰ | | |

^{NS}: عدم معنی‌داری، ^{**}: اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد.

جدول ۶- تجزیه واریانس شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز.

| منبع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F محاسبه شده |
|---------------------|------------|--------------|----------------|--------------------|
| نوع فرآیند | ۱ | ۰/۶۳۵۷۲۰ | ۰/۶۳۵۷۲۰ | ۷/۵۶* |
| پالایش | ۱ | ۱۳/۶۱۴۹۶۰ | ۱۳/۶۱۴۹۶۰ | ۱۶۱/۹۶** |
| نوع فرآیند × پالایش | ۱ | ۰/۰۸۰۳۶۰ | ۰/۰۸۰۳۶۰ | ۰/۹۶ ^{ns} |
| خطا | ۸ | ۰/۶۷۲۵۱۰ | ۰/۰۸۴۰۶۳ | |
| کل | ۱۱ | ۱۵/۰۰۳۵۵ | | |

^{ns} عدم معنی داری، * اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد، ** اختلاف معنی داری در سطح ۱ درصد.

جدول ۷- تجزیه واریانس شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز.

| منبع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F محاسبه شده |
|---------------------|------------|--------------|----------------|--------------------|
| نوع فرآیند | ۱ | ۵/۸۳۹۴۷۰ | ۵/۸۳۹۴۷۰ | ۶/۹۷* |
| پالایش | ۱ | ۸/۲۰۵۴۹۴ | ۸/۲۰۵۴۹۴ | ۹/۸۰* |
| نوع فرآیند × پالایش | ۱ | ۰/۲۰۶۱۹۴ | ۰/۲۰۶۱۹۴ | ۰/۲۵ ^{ns} |
| خطا | ۸ | ۶/۶۹۹۴۸۲ | ۰/۸۳۷۴۳۵ | |
| کل | ۱۱ | ۲۰/۹۵۰۶۴۰ | | |

^{ns} عدم معنی داری، * اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان می‌دهد که بین درجه روشنی خمیر کاغذهای سودا و سودا-آنتراکینون اختلاف معنی داری وجود ندارد. درجه روشنی با افزایش ضریب جذب نور کاهش می‌یابد. گروه‌های رنگ‌ساز و جاذب نور لیگنین از عوامل اصلی مؤثر بر روی درجه روشنی می‌باشند زیرا که وجود این عوامل باعث افزایش ضریب جذب نور و در نتیجه کاهش درجه روشنی می‌شوند. به عبارت دیگر، درجه روشنی متأثر از ساختار شیمیایی لیگنین و غلظت گروه‌های جاذب نور باقی‌مانده در خمیر کاغذ می‌باشد. از آن جایی که احتمالاً ساختار شیمیایی لیگنین باقی‌مانده در این دو نوع خمیر کاغذ در عدد کاپای یکسان تقریباً مشابه است، بین درجه روشنی خمیر کاغذ سودا و سودا-آنتراکینون اختلاف معنی داری مشاهده نشد. اما بین درجه روشنی کاغذهای حاصل از خمیرهای پالایش شده و پالایش نشده در سطح ۱ درصد اختلاف معنی دار وجود دارد و درجه روشنی خمیر کاغذهای پالایش نشده کمی بیشتر از خمیر کاغذهای پالایش شده می‌باشد. از آن جایی که درجه

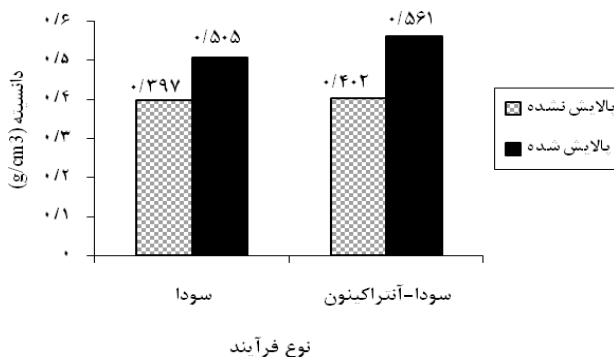
روشنی خمیر کاغذ علاوه بر کاهش ضریب جذب نور با افزایش ضریب پخش نور نیز افزایش می‌یابد، خمیرکاغذهای پالایش نشده در اثر وجود تخلخل بیشتر و در نتیجه اتصال کمتر بین الیاف، دارای ضریب پخش نور بیشتر و در نتیجه درجه روشنایی بیشتر از خمیرکاغذهای پالایش شده است. هم‌چنین، در اثر تیمار مکانیکی و حرارتی در طی عملیات پالایش نیز ممکن است مقداری گروه‌های جاذب نور تشکیل شوند که باعث افزایش ضریب جذب نور شده و این پدیده به‌همراه کاهش ضریب پخش نور، می‌تواند منجر به کاهش درجه روشنایی در خمیرکاغذهای پالایش شده گردد.

جدول ۸- تجزیه واریانس درجه روشنایی کاغذهای دست‌ساز.

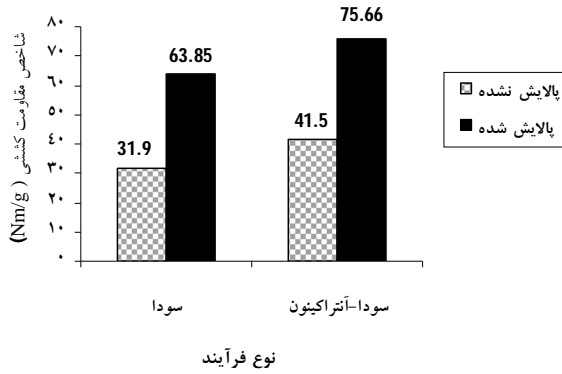
| منبع تغییرات | درجه آزادی | مجموع مربعات | میانگین مربعات | F محاسبه شده |
|---------------------|------------|--------------|----------------|---------------------|
| نوع فرآیند | ۱ | ۰/۰۳۰۰۰۰ | ۰/۰۳۰۰۰۰ | ۰/۴۸ ^{ns} |
| پالایش | ۱ | ۲/۹۲۰۵۳۳ | ۲/۹۲۰۵۳۳ | ۴۵/۷۱ ^{**} |
| نوع فرآیند × پالایش | ۱ | ۰/۵۴۶۱۳۳ | ۰/۵۴۶۱۳۳ | ۸/۷۳ [*] |
| خطا | ۸ | ۰/۵۰۰۲۰۰ | ۰/۰۶۲۵۲۵ | |
| کل | ۱۱ | ۳/۹۹۶۸۶ | | |

^{ns} عدم معنی‌داری، * اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد.

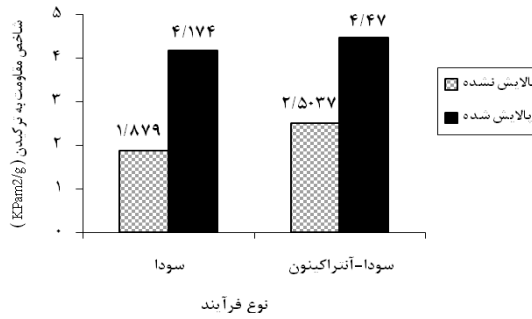
شکل‌های ۴ تا ۸ تأثیر نوع فرآیند خمیرسازی و پالایش را بر روی ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و نوری خمیرکاغذهای حاصل نشان می‌دهند.



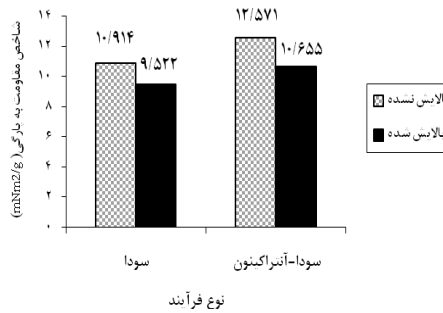
شکل ۴- اثر نوع فرآیند و پالایش بر روی دانسیته کاغذهای دست‌ساز.



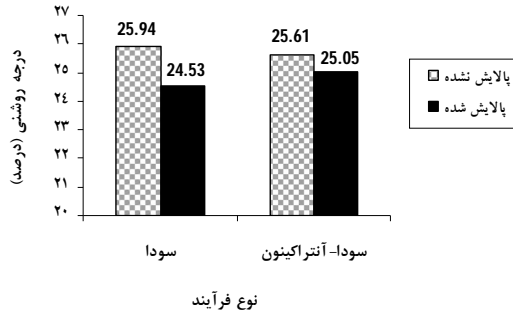
شکل ۵- اثر نوع فرآیند و پالایش بر روی مقاومت کششی کاغذهای دست‌ساز.



شکل ۶- اثر نوع فرآیند و پالایش بر روی مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز.



شکل ۷- اثر نوع فرآیند و پالایش بر روی مقاومت به پارگی کاغذهای دست‌ساز.



شکل ۸- اثر نوع فرآیند و پالایش بر روی درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز.

در جدول ۹ ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذهای سودا و سودا-آنتراکینون حاصل از کل ساقه کنف در این پژوهش با خمیر کاغذهای کرافت سوزنی برگ (پیشه آ آیس) و پهن برگ (صنوبر تریپلو) مقایسه شده است.

جدول ۹- مشخصات خمیر کاغذهای سودا و سودا-آنتراکینون کل ساقه کنف، کرافت پیسه آ آیس و کرافت صنوبر تریپلو.

| ویژگی | سودا، کنف | سودا-آنتراکینون، کنف | کرافت، پیسه آ آیس ^۱ | کرافت، صنوبر تریپلو ^۱ |
|---|-----------|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| عدد کاپا | ۱۹/۳۶ | ۲۰/۲۲ | ۲۰/۳۲ | ۱۷/۵۷ |
| درجه روانی ml,CSF | ۳۱۹ | ۲۹۸/۶۸ | ۴۰۰ | ۳۵۰ |
| شاخص مقاومت کششی N.m/g | ۶۳/۸۵ | ۷۵/۶۶ | ۹۷/۳۸ | ۶۵/۲۴ |
| شاخص مقاومت به ترکیدن kPa.m ² /g | ۴/۱۷۴ | ۴/۴۷ | ۵/۸۳ | ۳/۹۷ |
| شاخص مقاومت به پارگی mN.m ² /g | ۹/۵۲۲ | ۱۰/۶۵۵ | ۷/۹۲ | ۹/۳۱ |

۱- فخریان و همکاران (۲۰۰۴) / ۲- فخریان و همکاران (۲۰۰۹)

همان‌طور که در این جدول مشخص است، کلیه ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون کل ساقه کنف و مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی خمیر کاغذ سودا کل ساقه کنف در این پژوهش بیشتر از خمیر کرافت صنوبر تریپلو اما کمتر از خمیر کرافت پیسه آ آیس (به جز مقاومت به پارگی) بوده است. بنابراین با استفاده از ساقه کنف می‌توان خمیر کاغذی با ویژگی‌های مقاومتی بسیار مناسب و مطلوب‌تر از خمیر کاغذ پهن برگان و تقریباً نزدیک به خمیر کاغذ سوزنی برگان تهیه کرد.

با توجه به نتایج آماری به دست آمده، خمیرکاغذ حاصل از فرآیند سودا-آنتراکینون با بازده ۴۲/۸۷ درصد و عدد کاپای ۲۰/۲۲ (تیمار ۷) در مقایسه با خمیرکاغذ سودا با بازده ۴۰/۵۵ درصد و عدد کاپای ۱۹/۳۶ (تیمار ۴) به لحاظ خصوصیات بهینه کاغذ و مجموع ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و نوری مناسب‌تر می‌باشد و خمیرکاغذ حاصل از این تیمار به‌عنوان خمیرکاغذ قابل رنگ‌بری برای تولید کاغذهای چاپ و تحریر معرفی می‌گردد.

منابع

1. Ahmadi, M., Zabihzadeh, M., and Dastoorian, F. 2008. The Anatomical and Chemical Properties of *Abutilon theophrasti*. P. 113, The first Iranian Conference on Supplying Raw Materials and Development of Wood and Paper Industries, Gorgan, Iran. (In Persian)
2. Faezipour, M., Hamzeh, Y., and Mirshokraii, S.A. 2000. Evaluation of Kenaf as a Raw Material in Pulp Production. *Iranian J. Natural Res.* 53: 3. 239-250. (In Persian)
3. Fakhryan, A., Golbabaie, F., Hosseinkhani, H., Salehi, K., Mahdavi, S., and Mohseni- Tavakkoli, S. 2009. Pulping characteristics of *Populus triplo* wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research.* 24: 2. 183-193. (In Persian)
4. Fakhryan, A., Hosseinzadeh, A., Golbabaie, F., and Hosseinkhani, H. 2004. Investigation on delignification and pulping of Spruce (*Picea abies*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science and Researches.* 18: 2. 219-238. (In Persian)
5. Harsnal, P. 1997. Delignification Kinetics of Soda Pulping of Kenaf. *Journal of Wood Chemistry and Technology.* 16: 311-325
6. Khristova, P., Kordsachia, O., Patt, R., Khider, T., and Karrar, I. 2002. Alkaline Pulping with Additives of Kenaf from Sudan. *Industrial Crops and Products an International Journal.* 15: 229-235
7. Naseri, N. 2005. Studying the Possible of Situation Kraft Pulp from Kenaf Bast by Long Fibers at Development of Paper from CMP Pulp. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 103 p. (In Persian)
8. Villar, J.C., Revilla, E., Gomez, N., Carbajo, J.M., and Simon, J.I. 2008. Improving the use of Kenaf for kraft pulping by using mixtures of bast and core fibers. *Industrial Crops and Products an International Journal.* 29: 2. 301-307
9. Zeinaly, F., Dehghani, M., and Shakhes, J. 2008. Investigation of paper properties from Kenaf stalk. P 53, The first Iranian Conference on Supplying Raw Materials and Development of Wood and Paper Industries, Gorgan, Iran. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 18(4), 2012

<http://jwsc.gau.ac.ir>

Investigation on Soda and Soda- AQ Pulping of Whole Kenaf

***M.T. Asadollahzade¹ and H. Resalati²**

¹M.Sc. Student, of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, ²Professor Dept. of Pulp and Paper Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 2009-6-21; Accepted: 2010-6-6

Abstract

The present research has been conducted to investigate the soda and soda-anthraquinone pulping from whole kenaf (V_{36}). In this respect, anatomical characteristics of kenaf bast and core fibers as well as the soda and soda-AQ pulp properties produced at four sodium hydroxide concentrations, namely 25, 30, 35 and 40 (g/lit), have been evaluated. The pulping results indicated that pulp yield and kappa number for both pulps reduced by increasing sodium hydroxide concentration and the pulp yield loss was more severe at higher alkali concentrations. The slope of yield loss in soda-AQ process was lower than soda process. At similar concentrations, kappa number in soda-AQ process was lower than soda process, but pulp yield in soda-AQ was higher than soda pulp at almost similar kappa number. Statistical analysis indicated that the independent and interaction effects of process type and sodium hydroxide concentration on pulp yield and kappa number were significant at 1% experimental error level. In addition, the results of physical and strength properties of the handsheets showed that soda-AQ pulp had higher density than soda pulp but it was not significant statistically. Soda-AQ pulp had higher strength properties than soda pulp for both unrefined and refined samples and the differences were statistically significant for tensile strength at 1% experimental error level and burst strength and tear strength at 5% experimental error level. Since the handsheets properties were analyzed at almost similar kappa number, no significant differences were observed in the handsheet brightness between soda and soda-AQ pulps.

Keywords: Kenaf; Soda; Soda-anthraquinone; Yield; Kappa number

*Corresponding author; E-mail: mtasadollahzade@gmail.com