تاثیر متغیرهای پخت سودا بر تولید خمیرکاغذ از ساقه کنف

فرهاد زینلی[۱*]، فراز اسدی‌ملک‌جهان[۲]، علی کاظمی‌تبریزی[۳] و جلال شاخص[۳]

۱) دانش‌آموخته دکتری رشته صنایع چوب و کاغذ، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
*رایانامه نویسنده مسئول: farhad.zeinaly@yahoo.com
۲) دانشجوی دکتری رشته صنایع چوب و کاغذ، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۳) دانشجوی دکتری رشته صنایع چوب و کاغذ، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۳۰

چکیده

مطالعه رفتارهای شیمیایی در فرآیند خمیرسازی تحت شرایط محیطی مختلف به‌خصوص در گونه‌های غیرچوبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری که شرایط خمیرسازی با استفاده از مدل‌های تهیه شده برای دست‌یابی به خمیرکاغذی با مشخصات دلخواه به راحتی تعیین خواهد گشت. در این مطالعه، خمیرسازی سودا به‌عنوان یکی از متداول‌ترین فرآیندهای پخت منابع غیرچوبی برای تهیه خمیرکاغذ از کل ساقه کنف مورد بررسی قرار گرفت. شرایط متغیر پخت شامل دمای پخت ۱۶۰ و ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد، قلیاییت فعال ۱۸، ۲۳ و ۲۸ درصد و زمان پخت ۹۰، ۱۰۵، ۱۲۰، ۱۳۵، ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰ دقیقه بود. نتایج نشان داد که محدوده بازده خمیرکاغذهای تولیدی ۴۷ تا ۶۹ درصد و محدوده عدد کاپای آنها ۲۹ تا ۶۷ بودند. آنالیز آماری نتایج نشان داد که اثرات مستقل زمان پخت، مقدار قلیا و دمای پخت بر بازده و عدد کاپای خمیرکاغذ معنی‌دار بوده، درحالی‌که اثر متقابل آنها روی عدد کاپا و بازده خمیرکاغذ معنی‌دار نبوده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، سریع‌ترین و کندترین روند تغییرات عدد کاپا و بازده خمیرکاغذ به‌ترتیب مربوط به پخت‌های ۲۳ درصد قلیایت در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۸ درصد قلیایت در دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد بودند.

واژه‌های کلیدی: بازده خمیرکاغذ، خمیرسازی سودا، ساقه کنف، عدد کاپا.

مقدمه

سالهاست که فرآیندهای خمیرسازی در مورد سوزنی‌برگان و پهن‌برگان مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است و این فرآیندها برای تولید کاغذهایی با کیفیت بالا و با حداقل قیمت تمام شده، بهینه‌سازی شده‌اند. کمبود منابع چوبی محققان را بر آن داشته تا الیاف سلولزی غیرچوبی را برای ساخت کاغذ مورد بررسی قرار دهند. گیاه کنف (*Hibiscus cannabinus*) گیاهی یک‌ساله دارای ساقه‌ای با الیاف سلولزی است و جایگزین مناسبی برای چوب در تولید خمیرکاغذ تشخیص داده شد. ساقه کنف از دو بخش پوست و مغز به‌ترتیب با نسبت تقریبی ۱ به ۲ تشکیل شده است، پوست کنف با الیاف بلند (۶-۲ میلی‌متر) و با ضریب لاغری بالا، بسیار مناسب برای کاغذسازی می‌باشد. الیاف مغز با طولی به مراتب کمتر از الیاف پوست (۰/۸-۰/۶ میلی‌متر)، قسمت بیشتر ساقه را تشکیل می‌دهند

(فائزی‌پور و همکاران، ۱۳۸۱؛ زینلی و کاظمی‌تبریزی، ۱۳۹۳؛ Ververis *et al.*, 2003؛ Shakhes *et al.*, 2012).

در ارتباط با خمیرسازی از منابع غیرچوبی نظیر کنف که دارای بخش‌های فیبری متفاوت می‌باشند، خمیرسازی به‌صورت جداگانه و یا خمیرسازی کل ساقه اجرا می‌شود. پژوهش‌هایی که بر روی خمیرسازی پوست و مغز کنف به‌طور جداگانه انجام شده حاکی از بازده بیشتر و عدد کاپای کمتر خمیر پوست نسبت به مغز، در شرایط مشابه پخت است. همچنین در ارتباط با خمیرسازی کرافت و سودا تفاوت چشمگیری بین خمیرهای تولیدی توسط دو روش وجود نداشت (ناصری، ۱۳۸۴؛ توسلی، ۱۳۸۵؛ زینلی، ۱۳۸۸؛ شاخص، ۱۳۸۸).

گزارش‌های علمی نشان داد الیاف پوست کنف خمیرکاغذهایی با محدوده بازده ۶۰-۵۱ در مقایسه با محدوده بازده ۵۴-۴۰ درصد الیاف مغز داشتند. همچنین اعلام شده است که خمیرکاغذهای سودا و کرافت کنف خصوصیات نسبتا مشابهی دارند. در واقع پوست کنف به‌دلیل درصد کمتر لیگنین، بسیار ساده پخت شده و بازده بهتری دارد، در حالی که پخت مغز سخت‌تر و بازده آن در عدد کاپای مشابه، کمتر است. اگر چه پوست کنف بهترین بخش گیاه جهت کاغذسازی است، اما می‌توان از کل ساقه کنف نیز خمیرکاغذ نسبتا مناسبی تهیه نمود (زینلی و کاظمی‌تبریزی، ۱۳۹۳؛ Khristova *et al.*, 2002؛ Latifah *et al.*, 2009).

با توجه به کمبود منابع چوبی در کشور و همچنین آثار زیان‌بار قطع بی‌رویه درختان جنگلی لزوم استفاده و تعیین شرایط بهینه تولید خمیرکاغذ از گیاهان غیرچوبی قابل کشت در ایران نظیر کنف، در جهت کاهش فشار در بهره‌برداری از جنگل، امری ضروری و با اهمیت به‌شمار می‌آید. بنابراین در این پژوهش به بررسی خمیرسازی سودای ساقه کنف، تحت شرایط متفاوت فرآیندی پرداخته شد و تغییرات بازده و عدد کاپای خمیرکاغذ در شرایط متفاوت پخت مورد بررسی قرار گرفت و مدل‌های رگرسیونی و معادلات مربوط به آن در شرایط متفاوت پخت ترسیم و استخراج شد.

مواد و روش‌ها

برای خمیرسازی، ساقه‌های کنف به قطعاتی با طول تقریبی ۲/۵ سانتی‌متر تبدیل شدند و پس از محاسبه درصد رطوبت در داخل نایلون بسته‌بندی شدند. شرایط ثابت خمیرسازی شامل نسبت لیکور به کنف (L:W) ۸ به ۱ و دمای اولیه ۵۰ درجه سانتی‌گراد بود. شرایط متغیر پخت در جدول ۱ نشان داده شد.

جدول ۱. شرایط متغیر پخت سودای کنف

دمای پخت (°C)	قلیاییت فعال (٪)*	زمان پخت					
۱۶۰	۱۸	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۱۶۰	۲۳	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۱۶۰	۲۸	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۱۶۵	۱۸	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۱۶۵	۲۳	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰
۱۶۵	۲۸	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۶۵	۱۸۰

* درصد بر مبنای هیدروکسید سدیم نسبت به وزن خشک کنف است.

پس از هوا، خشک کردن و تعیین درصد رطوبت، بازده خمیرکاغذ محاسبه و عدد کاپای خمیرکاغذ بر اساس استاندارد تاپی T236 om-99 اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این پژوهش توسط آزمون فاکتوریل در قالب

طرح کاملا تصادفی تجزیه و تحلیل گردید و سپس گروه‌بندی میانگین‌ها با کمک آزمون دانکن انجام شد. همچنین، از میانگین داده‌های به‌دست آمده توسط نرم‌افزار اکسل، مدل‌های رگرسیونی مربوط به بازده و عدد کاپای خمیرکاغذها در سطوح مختلف قلیاییت و دمای پخت نسبت به فاکتور زمان پخت ترسیم گردید و معادلات محاسباتی از این مدل‌ها استخراج شدند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های کاغذ: نمونه منتخب از خمیرکاغذهای تولیدی برای رسیدن به درجه روانی مشخص ۱۰±۴۰۰ میلی‌لیتر بر طبق T248 sp-00 آیین‌نامه TAPPI پالایش شد. ویژگی‌های مقاومتی شامل مقاومت به کشش، مقاومت به پارگی و مقاومت به ترکیدن پس از تهیه کاغذهای دست‌ساز (T205 sp-95 آیین‌نامه TAPPI) از نمونه‌های خمیرکاغذ (به‌ترتیب مطابق با روش‌های T495 om-96، T414 om-98 و T403 om-97 آیین‌نامه TAPPI) اندازه‌گیری گردید. حداقل تعداد تکرار برای هر یک از آزمون‌ها ۴ بار بود. به‌منظور تجزیه و تحلیل ویژگی‌های اندازه‌گیری شده از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد و سپس گروه‌بندی میانگین‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۹ درصد صورت پذیرفت.

نتایج

مقدار ترکیبات شیمیایی ساقه کنف در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس این یافته‌ها مشخص گردید که پوست کنف در مقایسه با مغز دارای سلولز بیشتر و لیگنین کمتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که مقدار خاکستر در پوست کنف بیشتر بوده اما میزان مواد استخراجی آن کمتر از مغز است.

جدول ۲. درصد ترکیبات شیمیایی تشکیل‌دهنده بخش‌های مختلف گیاه کنف

	مواد استخراجی (٪)	سلولز (٪)	لیگنین (٪)	خاکستر (٪)
پوست	۷/۹۸^{c}	۵۴/۷۷^{a}	۱۱/۸۶^{c}	۶/۱۲^{a}
مغز	۹/۷۶^{a}	۳۵/۹۵^{c}	۲۲/۳۲^{a}	۴/۰۸^{c}
ساقه	۹/۰۵^{b}	۴۳/۴۸^{b}	۱۸/۱۴^{b}	۴/۹۰^{b}

نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش زمان پخت در هر کدام از سطوح قلیاییت و دمای پخت، عدد کاپا و بازده کاهش می‌یابد (جدول ۳)، اما روند این کاهش در سطوح مختلف قلیاییت و دمای پخت متفاوت است. همان‌طورکه در جدول ۴ نشان داده شده است با افزایش سطوح قلیاییت، عدد کاپا و بازده کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش دمای پخت عدد کاپا و بازده به‌طور معنی‌داری کاهشی است.

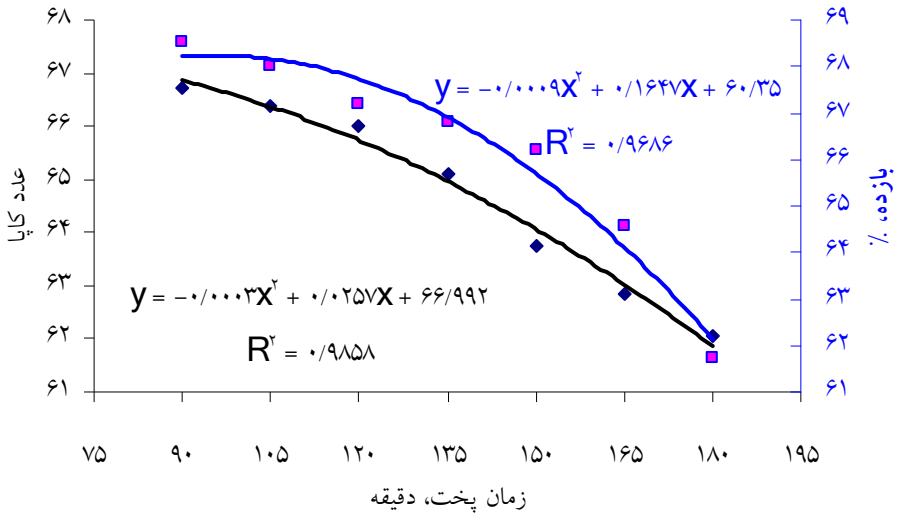
جدول ۳. مقایسه میانگین تاثیر زمان پخت بر میزان عدد کاپا و بازده خمیرکاغذ

زمان پخت (دقیقه)	عدد کاپا	بازده (٪)
۹۰	۵۳/۹^{a}	۵۸/۹^{a}
۱۰۵	۵۱/۵^{b}	۵۷/۳^{b}
۱۲۰	۴۹/۲^{c}	۵۶/۵^{c}
۱۳۵	۴۶/۹^{d}	۵۵/۳^{d}
۱۵۰	۴۵/۴^{ed}	۵۴/۶^{ed}
۱۶۵	۴۳/۶^{ef}	۵۳/۶^{ef}
۱۸۰	۴۲/۱^{f}	۵۲/۶^{f}

جدول ۴. مقایسه میانگین تاثیر قلیاییت و دمای پخت بر میزان عدد کاپا و بازده خمیرکاغذ

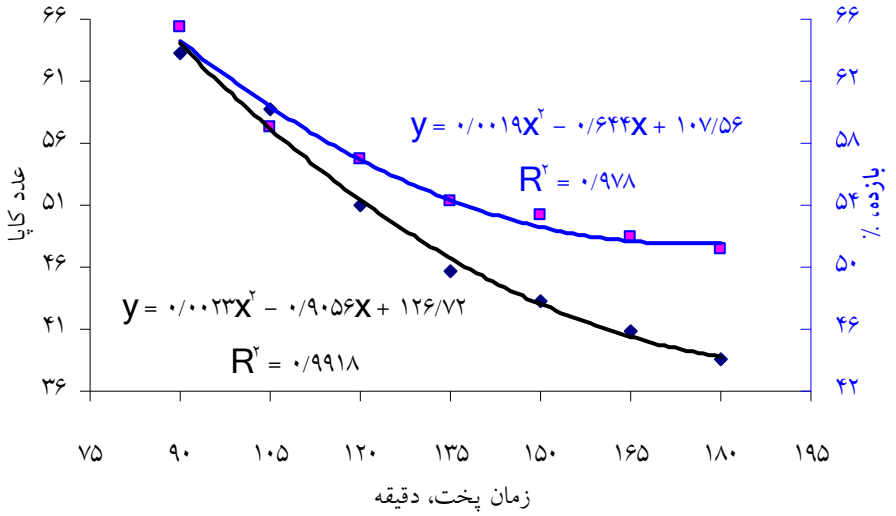
قلیاییت (٪)	عدد کاپا	بازده (٪)
۱۸	۶۲/۵[a]	۶۳/۳[a]
۲۳	۴۶/۲[b]	۵۴/۶[b]
۲۸	۳۴/۰[c]	۴۸/۷[c]
دمای پخت (°C)	عدد کاپا	بازده (٪)
۱۶۰	۴۹/۵۸[a]	۵۷/۲۴[a]
۱۶۵	۴۵/۵۲[b]	۵۳/۸۶[b]

تغییرات عدد کاپا و بازده در ۱۸ درصد قلیاییت و با دمای پخت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد دارای یک روند کاهشی کند است و خمیرکاغذ به‌دست آمده، حتی در زمان‌های بالای پخت دارای عدد کاپا و بازده بالایی هستند (شکل ۱).



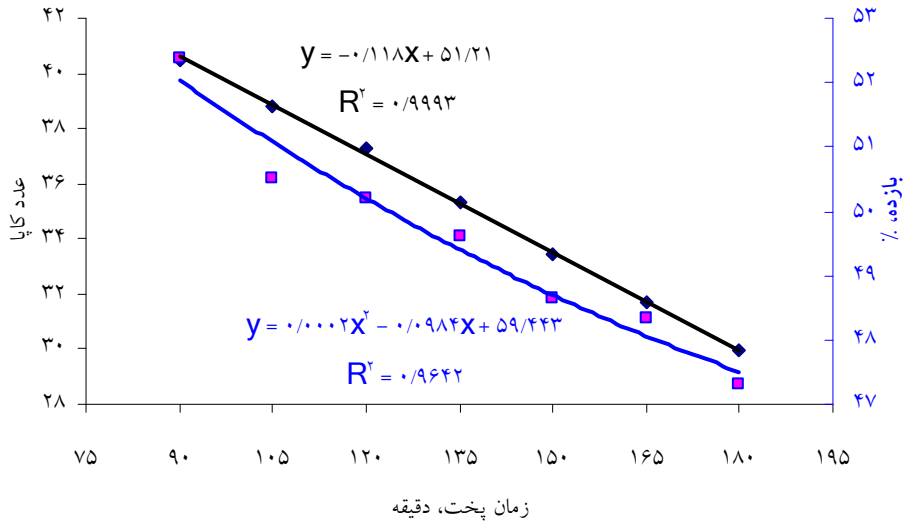
شکل ۱. مدل رگرسیونی عدد کاپا و بازده نسبت به زمان پخت در قلیاییت ۱۸ درصد و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد

روند کاهش عدد کاپا در پخت ۲۳ درصد قلیاییت و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های اولیه پخت دارای شیب تندی بوده و در زمان‌های بیشتر از شدت آن کاسته می‌شود. تغییرات بازده در ۲۳ درصد قلیاییت و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد دمای پخت، سریع‌ترین روند را داشته و با افزایش زمان پخت این روند کاهش یافته است (شکل ۲).



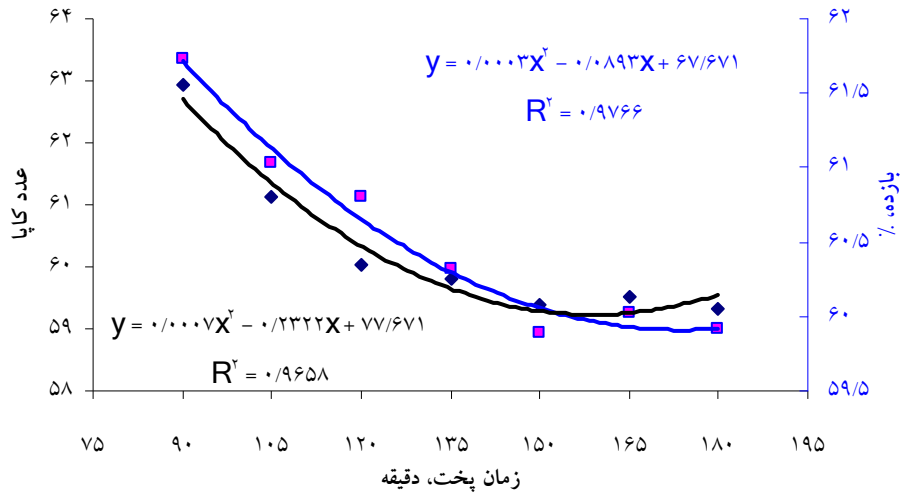
شکل ۲. مدل رگرسیونی عدد کاپا و بازده نسبت به زمان پخت در قلیاییت ۲۳ درصد و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد

شکل ۳ تغییرات عدد کاپا و بازده را در پخت ۲۸ درصد قلیاییت در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. در این نمودار روند کاهش عدد کاپا و بازده تقریبا به‌صورت خطی است.



شکل ۳. مدل رگرسیونی عدد کاپا و بازده نسبت به زمان پخت در قلیاییت ۲۸ درصد و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد

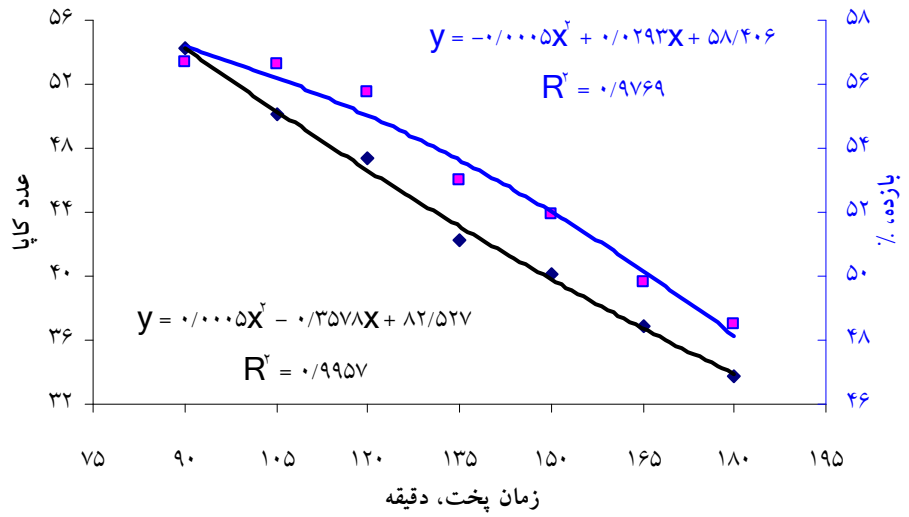
همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شد نرخ تغییرات عدد کاپا و بازده پخت نسبت به زمان در قلیاییت ۱۸ درصد و دمای پخت ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد، خیلی کند بوده و دارای روند کاهشی است.



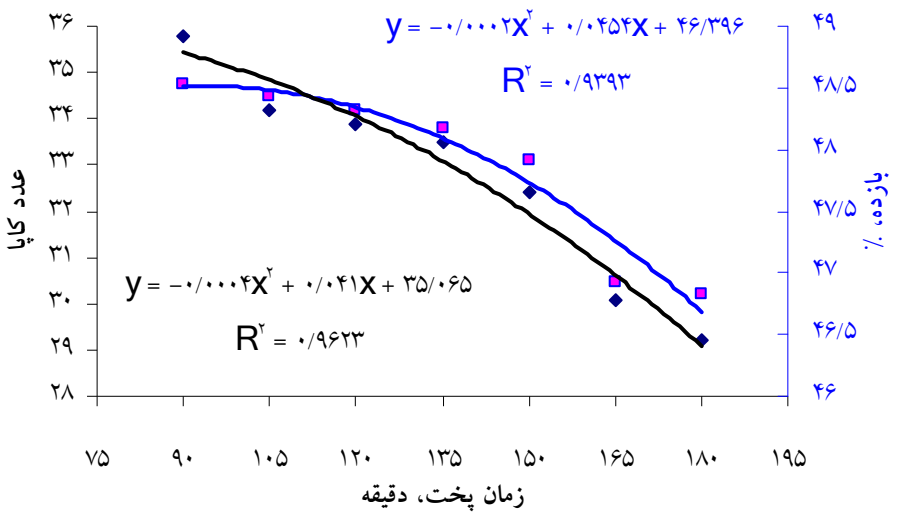
شکل ۴. مدل رگرسیونی عدد کاپا و بازده نسبت به زمان پخت در قلیاییت ۱۸ درصد و دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد

تغییرات عدد کاپا و بازده نسبت به زمان در قلیاییت فعال ۲۳ درصد و ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد دمای پخت با شتاب بالایی رو به کاهش است (شکل ۵).

شکل ۶، تغییرات کاپا و بازده را نسبت به زمان پخت در قلیاییت ۲۸ درصد و دمای ۱۶۵ درجه سانتی-گراد نشان می‌دهد.



شکل ۵. مدل رگرسیونی عدد کاپا و بازده نسبت به زمان پخت در قلیاییت ۲۳ درصد و دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد



شکل ۶. مدل رگرسیونی عدد کاپا و بازده نسبت به زمان پخت در قلیاییت ۲۸ درصد و دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد

ویژگی‌های خمیرکاغذ تولیدی از تیمار خمیرسازی دارای ۲۸ درصد قلیاییت فعال، دمای پخت ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۸۰ دقیقه در جدول ۵ نشان داده شده است. میزان پالایش برای رسیدن به درجه روانی مشخص ۴۰۰ میلی‌لیتر برای خمیرکاغذ تولید شده از کنف در جدول زیر مشخص است.

جدول ۵. ویژگی‌های خمیرکاغذ سودای کنف (۲۸ درصد قلیاییت فعال، دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد و زمان ۱۸۰ دقیقه)

عدد کاپا	بازده خمیرسازی (٪)	درجه روانی اولیه (ml)	میزان پالایش (دور)	شاخص کشش (Nm/g)	شاخص ترکیدن ($kPa.m^2/g$)	شاخص پارگی ($mN.m^2/g$)
۲۹/۲	۴۶/۸	۶۴۰	۱۸۰۰	۶۷/۲	۶/۴۲	۱۴/۸

بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس داده‌های به‌دست آمده از درصد ترکیبات ساقه کنف مشخص گردید که پوست کنف در مقایسه با مغز دارای سلولز بیشتر و لیگنین کمتری است. همچنین نتایج نشان داد که مقدار خاکستر در پوست کنف بیشتر بوده اما میزان مواد استخراجی آن کمتر از مغز است (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده با پژوهش‌های دیگر محققین در رابطه با گیاهان دارای دو بخش پوست و مغز چوبی مطابقت داشت (شاخص و همکاران، ۱۳۹۰؛ زینلی و کاظمی‌تبریزی، ۱۳۹۳؛ Ververis *et al.*, 2003). زمان پخت برای تهیه خمیرکاغذ از ساقه کنف در مقایسه با دیگر منابع غیرچوبی نظیر باگاس و کاه گندم بیشتر است (فائزی‌پور و همکاران، ۱۳۸۱) (جدول ۳) که یکی از دلایل آن مقدار لیگنین بیشتر موجود در بخش مغز ساقه می‌باشد (جدول ۲) و هرچه مقدار لیگنین بیشتر باشد لیگنین‌زدایی کندتر صورت گرفته و همچنین برای هیدرولیز و انحلال لیگنین، نیاز به شارژ بیشتر مواد شیمیایی پخت می‌باشد (Ohtani *et al.*, 2001). دلیل دیگر زمان بالای پخت کل ساقه کنف مربوط به وجود مواد قندی و شیره گیاهی در بافت چوب پنبه‌ای مغز کنف (Pith) است، بنابراین در همین ارتباط عبور ساقه‌های کنف از میان یک پرس فشرده‌ساز برای حذف شیره

گیاهی و مواد نامربوط دیگر در حالت تر مفید بوده و این عمل باعث کاهش مصرف مواد شیمیایی پخت و همچنین کاهش زمان پخت کل ساقه کنف می‌گردد (فائزی‌پور و همکاران، ۱۳۷۹؛ زینلی، ۱۳۸۸؛ Han & Rymsza, 1999).

بازده خمیر حاصل از ساقه کنف نیز نسبتا کم است که دلیل این امر میزان بالای لیگنین در بخش مغز ساقه کنف است (جدول ۲). این موضوع هم باعث کاهش بازده شده و هم زمان پخت را افزایش می‌دهد (Khristova *et al*., 2002). همچنین میزان مواد استخراجی در مغز ساقه بالا است (جدول ۲) که این مواد نیز در هنگام پخت و غربال‌سازی از خمیر جدا شده و باعث کاهش بازده می‌شود (فائزی‌پور و همکاران، ۱۳۸۱؛ Hart & Hsieh, 1991؛ Khristova *et al*., 1998؛ Han & Rymsza, 1999).

افزایش زمان پخت در هر کدام از سطوح قلیاییت و دمای پخت سبب کاهش عدد کاپا و بازده شد (جدول ۳)، اما روند این کاهش با افزایش زمان پخت نزولی می‌باشد که دلیل آن کاهش میزان لیگنین الیاف و ورود لیگنین‌زدایی به فاز انتهایی (فاز لیگنین باقی‌مانده) فرآیند پخت می‌باشد (Ek *et al*., 2009).

افزایش سطوح قلیاییت در تمام سطوح زمانی باعث کاهش عدد کاپا و بازده شد (جدول ۴). در فرآیند پخت پلیمر لیگنین موجود در ماده چوبی تحت تاثیر یون‌های هیدروکسیل محیط قلیایی (OH^-) به قطعات کوچکتری شکسته شده و محیط قلیایی حل می‌شوند. کربوهیدرات‌ها به‌ویژه همی‌سلولزها نیز تحت تاثیر ماده قلیایی قرار می‌گیرند و تا اندازه‌ای حل می‌شوند. به‌طوری‌که در جریان یک پخت عادی، تقریبا ۸۰ درصد لیگنین، ۵۰ درصد همی‌سلولزها و ۱۰ درصد سلولز حل می‌شوند (میرشکرایی، ۱۳۸۲). افزایش دمای پخت عدد کاپا و بازده را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۵). در فرآیند خمیرسازی شیمیایی، غلظت قلیا و دما دو نیروی پیش‌برنده واکنش است و در صورت افت هر یک از این موارد، واکنش‌های تراکمی لیگنین اتفاق می‌افتد (میرشکرایی، ۱۳۸۲؛ Sixta, 2006). بنابراین افزایش دما یکی از متغیرهای فرآیندی برای تسریع در لیگنین‌زدایی و کاهش زمان مورد نیاز برای پخت می‌باشد، اما گرانروی خمیرکاغذ نسبت به افزایش دمای پخت خیلی حساس است، بنابراین معمولا از دمای پخت بیشتر از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد اجتناب می‌گردد (Sixta, 2006).

نرخ تغییرات عدد کاپا در پخت ۱۸ درصد قلیا و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد دما، بسیار کند بوده و خمیرکاغذ به‌دست آمده، حتی در زمان‌های بالای پخت عدد کاپای بالایی داشتند (شکل ۱). در واقع در فرآیند خمیرسازی شیمیایی، قلیاییت فعال و دمای پخت دو عامل اصلی لیگنین‌زدایی است و با توجه به اینکه در این پخت (قلیای فعال ۱۸ درصد و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد) هر دو عامل در سطح پایینی قرار دارند در فاز اولیه پخت، pH فرآیند افت شدیدی یافته و لیگنین‌زدایی در فاز اصلی (فاز لیگنین‌زدایی توده‌ای) صورت نگرفته است. همچنین افت هر یک از این موارد (دمای پخت و pH محیط) سبب شروع واکنش‌های تراکمی لیگنین می‌شود (میرشکرایی، ۱۳۸۲؛ Sixta, 2006). از طرف دیگر روند تغییرات بازده نیز در این پخت شدید نبوده اما با افزایش زمان پخت نرخ کاهش بازده شتاب بیشتری می‌گیرد. احتمالا این افزایش روند کاهشی بازده به‌دلیل ورود لیگنین‌زدایی از فاز اول به دوم پخت می‌باشد (Lindgren & Lindström, 1996).

روند کاهش عدد کاپا در پخت ۲۳ درصد قلیاییت و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد دما، در زمان‌های اولیه پخت دارای شیب تندی بوده و در زمان‌های بیشتر از شدت آن کاسته می‌شود (شکل ۲). در این شرایط پخت، عدد کاپا از ۶۳/۳ به ۳۸/۶ رسیده است که بالاترین روند کاهش عدد کاپا (۲۴/۷ واحد) را در بین پخت‌ها داشت. در واقع شدت لیگنین‌زدایی و کاهش شدید عدد کاپا نشان‌دهنده

ورود فرآیندخمیرسازی شیمیایی به فاز لیگنین‌زدایی توده‌ای می‌باشد که در این فاز، لیگنین‌زدایی به‌طور گسترده صورت می‌گیرد (Lindgren & Lindström, 1996). تغییرات بازده نیز در این پخت، سریع‌ترین نرخ را داشته و با افزایش زمان پخت این روند کاهش یافت (شکل ۲). این کاهش روند تغییرات به‌دلیل کاهش ماده قلیایی و کاهش pH محیط پخت در نتیجه لیگنین‌زدایی گسترده، در فاز دوم پخت می‌باشد (Gustavsson *et al*., 1997). در این شرایط پخت، میزان بازده خمیرسازی از ۶۵/۴ به ۵۱/۱ کاهش یافته که بیشترین روند کاهش بازده (۱۴/۳ واحد) را در بین پخت‌ها داشت. افت چشمگیر بازده نیز دلیل بر تداوم فرآیند خمیرسازی شیمیایی در فاز بالک فرآیند است که در این فاز افت بازده ناشی از حذف گسترده لیگنین و خروج ترکیبات اتصال‌دهنده الیاف می‌باشد (Ek *et al*., 2009).

روند کاهش عدد کاپا در پخت ۲۸ درصد قلیاییت و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد دما، تقریبا به‌صورت خطی است (شکل ۳). این موضوع نشان‌دهنده قرارگیری فرآیند پخت در فاز لیگنین‌زدایی توده‌ای است، به‌طوری‌که در فاز لیگنین‌زدایی توده‌ای، حذف گسترده لیگنین روی داده و فرآیند لیگنین‌زدایی نسبت به زمان تقریبا خطی بوده و از یک معادله درجه یک تبعیت می‌کند (میرشکرایی، ۱۳۸۲؛ Ek *et al*., 2009). بنابراین می‌توان گفت که این پخت از لحاظ قلیاییت فعال نسبت به سطوح قبلی قلیاییت در جایگاه مناسب‌تری قرار داشته است. میزان بازده نیز در این پخت، مشابه با تغییرات کاپا، به‌طور تقریبی روند کاهش ثابتی داشته و نمودار آن تقریبا خطی است (شکل ۳). این موضوع نشان‌دهنده حذف گسترده لیگنین در فاز دوم پخت (فاز لیگنین‌زدایی توده‌ای) است. در این پخت تغییرات بازده خمیرسازی در زمان‌های پخت تعیین شده در کمترین مقدار است (۵/۱ واحد). علت این موضوع شدید بودن شرایط فرآیندی (میزان قلیاییت فعال بالا) بوده که در این شرایط لیگنین‌زدایی در مراحل اولیه پخت نیز به‌طور گسترده صورت گرفته است (Gustavsson *et al*., 1997؛ Lindgren & Lindström, 1996).

در هر سه فاز، حذف لیگنین همراه با تخریب همی‌سلولزها و سلولز روی می‌دهد، اما میزان این تخریب در این فازها متفاوت است. بالاترین حذف گزینشی لیگنین در فاز دوم انجام می‌شود، بنابراین بهینه‌سازی و تداوم این فاز اهمیت ویژه‌ای دارد (Gustavsson *et al*., 1997).

روند تغییرات عدد کاپا نسبت به زمان در قلیاییت ۱۸ درصد و دمای پخت ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد، خیلی کند بوده، به‌طوری‌که از عدد کاپای ۶۲/۹ در زمان پخت ۹۰ دقیقه به عدد کاپای ۵۹/۳ در زمان ۱۸۰ دقیقه می‌رسد. همچنین در زمان ۱۵۰ دقیقه این نمودار به صورت افقی در آمده و تفاوت معنی‌داری بین اعداد کاپای زمان‌های ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰ دقیقه مشاهده نمی‌شود. این روند کند تغییرات به این دلیل است که در دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد لیگنین‌زدایی و مصرف مواد شیمیایی پخت سریع‌تر انجام شده و در زمان‌های اولیه پخت قلیای فعال افت شدیدی یافته است و به‌دلیل مقدار کم قلیاییت فعال، در زمان ۱۵۰ دقیقه به بعد pH به شدت کاهش یافته و پدیده رسوب لیگنین بر روی الیاف روی داده است، بنابراین کاپا از زمان ۱۵۰ دقیقه به بعد ثابت مانده است (زینلی و کاظمی‌تبریزی، ۱۳۹۳؛ Shakhes *et al*., 2011). در این شرایط، قطعات خرد شده و انحلال یافته لیگنینی می‌توانند با یکدیگر و یا لیگنین حل نشده در الیاف واکنش تراکمی انجام دهند که خارج‌سازی این لیگنین متراکم خیلی دشوارتر است. در فرآیند خمیرسازی شیمیایی، غلظت قلیا و دما دو نیروی پیش‌برنده واکنش است و در صورت افت هر یک از این موارد، واکنش‌های تراکمی لیگنین اتفاق می‌افتد

(میرشکرایی، ۱۳۸۲؛ Sixta, 2006). در واقع، به‌دلیل میزان قلیاییت فعال پایین در این پخت، فرآیند پخت شیمیایی فقط تا زمان ۱۲۰ دقیقه ادامه داشته که البته در این زمان ماند نیز فرآیند لیگنین‌زدایی نرخ خیلی کندی داشت و از این زمان به بعد کاهش عدد کاپا روی نداد. میزان کاهش عدد کاپا در محدوده زمانی ۹۰ تا ۱۲۰ دقیقه، ۲/۹ واحد بود و از زمان ۱۲۰ تا ۱۸۰ دقیقه میزان افت کاپا ۰/۷ واحد بود که علت آن افت شدید قلیاییت (pH) در مایع پخت بود.

بازده این پخت نیز مانند نمودار عدد کاپا دارای روند کاهشی کند بوده و در زمان‌های ۱۵۰، ۱۶۵ و ۱۸۰ دقیقه بازده‌های به‌دست آمده تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند که علت آن کاهش شدید ماده قلیایی واکنش‌گر در محیط واکنش و افت pH مایع پخت می‌باشد. بنابراین میزان ۱۸ درصد شارژ قلیا برای خمیرسازی شیمیایی ساقه کنف کافی نمی‌باشد (زینلی و کاظمی‌تبریزی، ۱۳۹۳؛ Shakhes *et al*., 2011).

تغییرات عدد کاپا نسبت به زمان در قلیاییت فعال ۲۳ درصد و ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد دمای پخت، با شتاب بالایی رو به کاهش است (شکل ۵)، به‌طوری‌که از کاپای ۵۴/۳ در زمان ۹۰ دقیقه به کاپای ۳۳/۸ در زمان ۱۸۰ دقیقه رسیده است (۲۰/۵ واحد کاهش). روند کاهش عدد کاپا در این پخت به شکل خطی بوده و دارای شیب تقریبا یکسان در زمان‌های مختلف پخت بود که نشان‌دهنده میزان قلیاییت کافی در زمان‌های نهایی پخت بوده و نشانه‌ای از افت pH در زمان‌های بالای پخت مشاهده نمی‌شود (میرشکرایی، ۱۳۸۲؛ Ek *et al*., 2009). نرخ تغییرات بازده نیز روند کاهشی شدیدی داشت. به‌طوری‌که بازده خمیرسازی از ۵۶/۷ درصد در زمان ماند ۹۰ دقیقه به ۴۸/۵ درصد در زمان ماند ۱۸۰ دقیقه رسید و میزان اختلاف بازده در این دوره زمانی پخت به میزان ۸/۲ درصد رسید. علت این کاهش یکنواخت بازده، میزان قلیاییت فعال کافی در تمام زمان‌های پخت و لیگنین‌زدایی یکنواخت و گسترده در این دامنه زمانی بود. این کاهش بالای بازده نشانگر لیگنین‌زدایی بالا در فاز دوم پخت‌های شیمیایی است (Lindgren & Gustavsson *et al*., 1997؛ Lindström, 1996).

نتایج حاصل از پخت کنف در قلیاییت ۲۸ درصد و دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد نشان داد که در زمان‌های کم پخت، کاپا به شدت افت پیدا کرده و نرخ تغییرات آن در زمان، نسبت به قلیاییت ۲۳ درصد کندتر می‌باشد (۶/۶ واحد افت کاپا)، نمودار نزولی در این پخت نشان می‌دهد که pH مایع پخت در زمان‌های نهایی پخت نیز بالا است. تغییرات کاهشی بازده نیز در قلیاییت ۲۸ درصد و دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد دارای روند نسبتا کندی است که نشان می‌دهد لیگنین‌زدایی اصلی در زمان‌های اولیه پخت صورت گرفته و با افزایش زمان پخت، مراحل پایانی فاز دوم طی شده و فرآیند خمیرسازی وارد فاز سوم خمیرسازی (فاز لیگنین باقی‌مانده) می‌شود (Gustavsson *et al*., 1997 ؛ Lindgren & Lindström, 1996).

همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان پالایش برای رسیدن به درجه روانی مشخص ۴۰۰ میلی‌لیتر برای خمیرکاغذ تولید شده از ساقه کنف کم می‌باشد (جدول ۵) که دلیل آن وجود الیاف و سلول‌های آوندی کوتاه مربوط به مغز ساقه کنف و ترکیبات آبدوست (ساختارهای آمورف سلولز و همی‌سلولزی) در خمیرکاغذ ساقه کنف بوده که سبب واکشیدگی بالا در آب شده و پالایش‌پذیری بهتری داشته است (Lumiainen, 2000).

در نهایت نتایج این پژوهش نشان داد که برای تولید خمیرکاغذ از کل ساقه کنف، میزان قلیاییت فعال ۱۸ درصد کم بوده و با توجه به افت شدید pH، فرآیند لیگنین‌زدایی به‌طور کامل انجام نگرفت. نتایج همچنین نشان داد که برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی قابل رنگبری باید از قلیاییت فعال بیشتر (۲۸ درصد) و دمای پخت بالا

(۱۶۵ درجه سانتی‌گراد) استفاده کرد. اگرچه با توجه به نمودارهای افت کاپا و بازده، فرآیند پخت با قلیاییت فعال ۲۳ درصد و دمای پخت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نیز توانست لیگنین‌زدایی از خمیرکاغذ را در فاز گسترده اجرا سازد. بنابراین در صورتی که هدف، تولید خمیرکاغذی با بازده و عدد کاپای بالاتر است، می‌توان از این شرایط خمیرسازی استفاده نمود. همچنین از معادلات به‌دست آمده از مدل‌های رگرسیونی، می‌توان زمان مورد نیاز برای عدد کاپای هدف را تعیین نمود.

منابع

توسلی، ا. (۱۳۸۵) بررسی امکان جایگزینی خمیر سودای پوست کنف با خمیر الیاف بلند وارداتی در بهبود کیفیت کاغذ حاصل از خمیر سودای باگاس. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۹۷ صفحه.

زینلی، ف. (۱۳۸۸) بررسی تاثیر استفاده از خمیر کرافت و سودای کنف بر خواص کاغذ بسته‌بندی بازیافتی. پایان‌نامه کارشناسی-ارشد رشته صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۷۲ صفحه.

زینلی، ف. و کاظمی‌تبریزی، ع. (۱۳۹۳) بررسی تاثیر استفاده از خمیرکاغذ پوست و کل ساقه کنف در اختلاط با خمیرکاغذ بسته‌بندی بازیافتی بر ویژگی‌های کاغذ حاصله. تحقیقات منابع طبیعی تجدیدشونده، ۱۸(۴): ۷۷-۹۲.

شاخص، ج. (۱۳۸۸) اثر رقم و زمان برداشت بر ویژگی‌های کمی، کیفی و خمیرسازی الیاف پوست کنف. پایان‌نامه کارشناسی-ارشد رشته صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۰۴ صفحه.

شاخص، ج.، سرائیان، ا.ر. و زینلی، ف. (۱۳۹۰) بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی و شیمیایی ساقه گیاه توتون. تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۶(۲): ۳۳۹-۳۵۱.

فائزی‌پور، م.، کبورانی، ع. و پارساپژوه، د. (۱۳۸۱) کاغذ و منابع چندسازه از منابع زراعی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۵۷۳ صفحه.

فائزی‌پور، م.، همزه، ی. و میرشکرایی، س.ا. (۱۳۷۹) بررسی گیاه کنف در تهیه خمیرکاغذ. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۳(۳): ۲۳۹-۲۵۰.

میرشکرایی، س.ا. (۱۳۸۲) تکنولوژی خمیر و کاغذ. انتشارات آییژ، تهران، ۴۹۹ صفحه.

ناصری، ن. (۱۳۸۴) بررسی امکان جایگزینی خمیر کرافت حاصل از پوست کنف با الیاف بلند وارداتی در بهبود کاغذ حاصل از خمیر CMP. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۸۵ صفحه.

Ek, M., Gellerstedt, G. and Henriksson, G. (2009) Pulp and Paper Chemistry and Technology. Vol. 2, Pulping Chemistry and Technology, Walter de Gruyter GmbH & Co., Berlin, Germany, 471p.

Gustavsson, C., Lindgren C. and Lindström, M.E. (1997) Residual phase lignin in Kraft cooking related to the conditions in the cook. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 12(4): 225-238.

Han, J.S. and Rymsza, T.A. (1999) Determination the minimum conditions for soda-AQ pulping of kenaf bast, core, and whole stalk fibers. American Kenaf Society, 1(5): 1-7.

Hart, P.W. and Hsieh, B.N. (1991) Anthraquinone pulping of non-wood species, Non wood plant fibers. Progress Report, 21: 183-191.

Khristova, P., Bentcheva, S. and Karar, I. (1998) Soda–AQ pulp blends from kenaf sunflower stalks. Bioresource Technology, 66(2): 99-103.

Khristova, P., Kordsachia, O., Patt, R., Khider, T. and Karrar, I. (2002) Alkaline pulping with additives of kenaf from Sudan. Industrial Crops and Products, 15(3): 229-235.

Latifah, J., Ainun, Z.M.A., Rushdan I. and Mahmudin, S. (2009) Restoring strength to recycled fibres by blending with kenaf pulp. Malaysian Journal of Science, 28(1): 79-87.

Lindgren, C. and Lindström, M.E. (1996) The kinetics of residual delignification and factors affecting the amount of residual lignin during Kraft pulping. Journal of Pulp and Paper Science, 22(8): 290-304.

Lumiainen, J. (2000) Refining of chemical pulp. In: J. Gullichsen and H. Paulapuro (Eds.). Papermaking science and

properties fibers of kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*). African Journal of Biochemistry Research, 6(6): 69-74.

Sixta, H. (2006) Handbook of Pulp. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 1352p.

TAPPI. (2006-2007) TAPPI Test Methods. TAPPI, Norcross, GA 30092 USA.

Ververis, C., Georghious, K., Christodoulakis, N. and Santos, R. (2003) Fiber, dimension, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. Industrial Crops and Products, 19(3): 245-254.

technology, Book 8, Fapet Oy, Gummerus Printing, Jyvaskyla, Finland, pp: 87-121.

Ohtani, Y., Mazumder, B.B. and Sameshima, K. (2001) Influence of the chemical composition of kenaf bast and core on the alkaline pulping response. Journal of Wood Science, 47(1): 30-35.

Shakhes, J., Zeinaly, F., Marandi, M.A.B. and Saghafi, T. (2011) The effects of processing variables on the soda and soda-aq pulping of kenaf bast fiber. Bioresources, 6(4): 4626-4639.

Shakhes, J., Zeinaly, F., Marandi, M.A.B. and Saghafi, T. (2012) Effects of harvest time and cultivar on yield and physical

The effect of soda cooking variables on pulp production from Kenaf stalk

Farhad Zeinaly[1*], Faraz Asadi Malek Jahan[2], Ali Kazemi Tabrizi[3] and Jalal Shakhes[3]

1) Ph.D. in Wood and Paper Industries, Young Researchers and Elite Club, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran. *Corresponding Author Email Address: farhad.zeinaly@yahoo.com
2) Ph.D. Student of Wood and Paper Industries, Department of Wood and Paper Industries, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3) Ph.D. Student of Wood and Paper Industries, Young Researchers and Elite Club, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

Date of Submission: 2018/10/03 Date of Acceptance: 2019/01/20

Abstract

Considering the chemical behavior of the pulping process under variable conditions, especially in non-woods species, is important as it can help us to develop the pulping models to reach the pulps with desired properties. In the present research, the soda pulping under different conditions was investigated to produce whole stalk kenaf pulp as the most common pulping processes for non-woody species. The cooking conditions were included temperatures (160 and 165 °C), active alkali levels (18, 23, and 28 %) and cooking duration (90, 105, 120, 135, 150, 165, and 180 min). Results indicated that pulp yield was in the range of 47 to 69 % and the kappa number was in the range of 29 to 67. The statistical analysis showed that cooking durations, alkali levels, and cooking temperatures had significantly independent effects on pulp yield and kappa number, although their interactions on pulp yield and kappa number were not significant. Based on the present results, the fastest and the slowest changing rates of kappa number and pulp yield were related to the pulping condition of 23% active alkali in 160 °C and 18% active alkali in 165 °C, respectively.

Keywords: Kappa number, Kenaf stalk, Pulp yield, Soda pulping.