



دانشگاه گمرک‌های ایران

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل  
جلد بیستم و دوم، شماره سوم، ۱۳۹۴  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## تولید خمیر کاغذ NSSC از ساقه سورگم دانه‌ای به منظور تولید کاغذ کنگره‌ای

فهیمة طهماسبی<sup>۱</sup>، علی قاسمیان<sup>۲</sup>، سعید مهدوی<sup>۳</sup> و احمدرضا سرائیان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup>دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی گرگان، <sup>۳</sup>دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۴

### چکیده

**هدف و سابقه تحقیق:** این تحقیق با هدف ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خمیر کاغذ نیمه شیمیائی سولفیت ختنی برای تهیه کاغذ کنگره‌ای (فلوتینگ) از ساقه سورگم دانه‌ای و مقایسه آن با سایر گیاهان غیر چوبی انجام شد. محققین اعلام نموده‌اند که به دلیل سهم زیاد (۴۸ درصد) سلول‌های غیرلیفی (پاراننشیمی)، ارزش سورگم برای خمیرسازی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، مقدار نسبتاً زیاد خاکستر و مواد استخراجی محلول در هیدروکسید سدیم ۱ درصد، درصد سلولز کمتر این ماده اولیه و تخریب کربوهیدرات‌ها طی شرایط مختلف پخت از عوامل مؤثر بر کاهش بازده خمیر کاغذ گزارش شده‌اند.

**مواد و روش‌ها:** ساقه سورگم دانه‌ای رقم A12 مورد آزمایش از ایستگاه تحقیقات آق‌قلا واقع در استان گلستان تهیه شد. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی، با فرآیند NSSC بر اساس شرایط پخت شامل سولفیت سدیم در سه سطح ۱۰ درصد، ۱۲ درصد و ۱۴ درصد، نسبت کربنات به سولفیت سدیم ۱ به ۳، نسبت مایع پخت به ساقه: ۷ به ۱ و درجه حرارت ثابت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به خمیر کاغذ تبدیل شد. تعیین وزده خمیر کاغذ با استفاده از الک ۱۸ مش در بالا و اندازه‌گیری بازده بعد از الک با به کارگیری الک ۲۰۰ مش در پایین آن انجام شد. پس از پالایش خمیر کاغذهای منتخب بر اساس بازده پخت تا درجه

\*مسئول مکاتبه: smahdavi@rifr-ac.ir

۳۱SR استاندارد اسکن، کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه ۱۲۷ گرم بر مترمربع به وسیله ورق‌ساز نوع KCL ساخته شد.

**یافته‌ها:** بازده بعد از الک خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی سورگم دانه‌ای نسبت به همین نوع خمیرکاغذ تهیه شده از باگاس، ساقه آفتاب‌گردان، پنبه و کلزا کمتر و با کاه گندم مشابه است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین بازده بعد از الک (۴۵/۷۴ درصد) با استفاده از ۱۲ درصد مواد شیمیایی و ۳۰ دقیقه زمان پخت حاصل شد و کمترین بازده بعد از الک (۳۷/۵۱ درصد) با استفاده از ۱۴ درصد مواد شیمیایی و ۹۰ دقیقه زمان پخت به‌دست آمد. امتیازدهی تیمارها با سه الگو برای مقایسه شاخص مقاومت به پارگی، کشش، ترکیدن، RCT، CMT و CCT کاغذهای دست‌ساز نشان داد که استفاده از ۱۰ درصد مواد شیمیایی، ۶۰ دقیقه زمان پخت و دمای پخت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند به‌عنوان شرایط بهینه خمیرکاغذسازی به روش سولفیت بافر شده برای سورگم دانه‌ای مطرح باشد.

**نتیجه‌گیری:** مقایسه مقاومت‌های کاغذ دست‌ساز تهیه شده از سورگم دانه‌ای نشان داد که این ماده از جایگاه نسبتاً مناسبی برای تولید کاغذ کنگره‌ای در مقایسه با خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی تهیه شده از آفتابگردان، نی، کلزا و کاه گندم برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان جبران‌کننده بخشی از کمبود ماده اولیه در خط تولید کاغذ کنگره‌ای شرکت چوب و کاغذ مازندران مطرح باشد.

**واژه‌های کلیدی:** ساقه سورگم دانه‌ای، خمیرکاغذ NSSC، بازده، ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های مکانیکی

#### مقدمه

در صورت استفاده بهینه از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی، به‌عنوان منابعی تجدید شونده، در صنعت چوب و کاغذ از یک طرف می‌توان مانع تخریب بی‌رویه جنگل‌های مورد استفاده برای این صنعت شد و از طرف دیگر به‌دلیل کوتاه بودن دوره رشد این منابع، تا حد زیادی می‌توان نیازهای فابری صنعت چوب و کاغذ را تأمین کرد (۲۰).

تولید خمیرکاغذ به روش<sup>۱</sup> NSSC یک فرآیند دو مرحله‌ای که در مرحله اول مواد لیگنوسلولزی تحت یک تیمار ملایم شیمیایی قرار گرفته تا پیوندهای بین الیاف با خروج فقط بخشی از همی سلولزها و نیز بخشی از لیگنین ضعیف شود. لذا با توجه به خروج کمتر این دو ماده از خمیرکاغذ، بازده تولید خمیرکاغذ به مقدار قابل توجهی نسبت به فرآیندهای شیمیایی بیشتر است. در مرحله دوم، تیمار مکانیکی، مواد حاصل از مرحله اول را به الیاف جداگانه تفکیک می‌کند. به‌طور کلی در این مرحله کمترین شکست الیاف ایجاد می‌شود. بررسی‌های میکروسکوپی نشان‌دهنده شباهت بسیار زیاد این الیاف با الیاف تولیدی فرآیند شیمیایی است. از مزایای این روش می‌توان به هزینه کم خمیرکاغذ تولیدی از پهن‌برگان با ویژگی‌های مقاومتی خوب برای کاغذ حاصل به‌ویژه مقاومت در برابر فشار که برای مقوای کنگره‌ای بسیار با اهمیت است، مصرف کم مواد شیمیایی، عدم انتشار بوهای آزاردهنده، کاهش حساسیت به کیفیت ماده لیگنوسلولزی، بازده تولید نسبتاً زیاد خمیرکاغذ (بیش از ۶۰ درصد) و هزینه پایین سرمایه‌گذاری اشاره کرد (۶ و ۱۱). این روش برای چوب پهن‌برگان بسیار مناسب است. به طوری که کاغذهای تولیدی با این روش در مقایسه با کاغذهای تولیدی با فرآیندهای شیمیایی، مقاومت به ترکیدن بهتری دارند (۷).

ناهمگن بودن لیگنین پهن‌برگان و کم بودن جرم مولکولی آنها تا حد زیادی عامل اصلی سازگاری خرده چوب‌های گونه پهن‌برگ با فرآیند NSSC است. گرچه لیگنین سوزنی‌برگان بیشتر از لیگنین پهن‌برگان به‌وسیله مایع پخت سولفیت، سولفون می‌شود، ولی چوب سوزنی‌برگان با این مایع پخت کندتر واکنش می‌دهد. از طرف دیگر برای میزان مشخصی از لیگنین‌زدایی، مواد شیمیایی بیشتری نسبت به پهن‌برگان مصرف می‌شود که این مسئله به‌دلیل مقدار بیشتر لیگنین سوزنی‌برگان و غیرقابل دسترس بودن لیگنین در دیواره سلولی و وزن مولکولی بالاتر آن می‌باشد. علاوه بر این‌ها رزین‌ها در مقابل حل شدن در مایع پخت NSSC مقاومت می‌کنند (۷).

کاغذی که معمولاً از طریق نیمه شیمیایی با بازده حدود ۷۵ درصد تولید می‌شود، سفتی خاصی داشته و آن‌ها را برای لایه میانی و کنگره‌ای مقوا مناسب می‌سازد (۱۹).

در تحقیقی با هدف تولید خمیرکاغذ سودا و سودا-آنتراکینون از ساقه سورگم محققین اعلام نموده‌اند که به‌دلیل سهم زیاد (درصد سلول‌های غیرلیفی) پارانشیمی) ارزش این ماده برای خمیرسازی

1- Neutral sulfite semi-chemical

کاهش می‌یابد. علاوه بر این، مقدار نسبتاً زیاد خاکستر و مواد استخراجی محلول در هیدروکسید سدیم ۱ درصد بر کاهش بازده و تخریب کربوهیدرات‌ها طی شرایط مختلف پخت تأثیرگذار بوده، به طوری که بازده بعد از الک خمیرکاغذ سودا از ۳۴ تا ۳۹ درصد در عدد کاپای ۳۴ نوسان دارد. استفاده از آنتراکینون در تولید خمیرکاغذ سودا از ساقه‌های سورگم، سرعت لیگنین‌زدایی و بازده خمیر کاغذ را افزایش می‌دهد و خصوصیات مقاومتی خمیرسازی سودا را بهبود می‌بخشد. مغززدایی از ساقه‌ها تأثیر نسبتاً زیادی روی بازده و خصوصیات مقاومتی دارد، در حالی که مصرف قلیا و پس‌زده‌ها کاهش پیدا می‌کند (۱۳).

در بررسی ارزیابی دو رقم سورگم دانه‌ای برای تولید خمیر کاغذ سودا، با استفاده از ترکیب عوامل پخت شامل درصد مواد شیمیایی ۱۰ و ۱۲ درصد، درجه حرارت پخت ۱۶۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت ۶۰ و ۷۵ دقیقه، ۶ حالت مختلف پخت به روش سودا مشخص شد. دامنه تغییرات بازده بعد از الک دو رقم با توجه به شرایط پخت، از حدود ۲۶ تا ۳۳ درصد می‌باشد که تغییرات مقدار بازده خمیرکاغذ از حدود ۹ تا ۱/۵ درصد بر روی آن تأثیرگذار بوده است. پایین بودن نسبی درصد سلولز و زیاد بودن مواد استخراجی (قابل حل در استن و هیدروکسید سدیم ۱ درصد) سورگم دانه‌ای از جمله دلایل پایین بودن بازده بعد از الک آن عنوان شده است (۱۵).

استفاده از کاه گندم برای تولید خمیرکاغذ NSSC در شرایط: دمای (۱۶۵ و ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد)، زمان پخت در سه سطح (۲۰ و ۳۰ و ۴۰ دقیقه) و درصد مواد شیمیایی در سه سطح سولفیت سدیم (۱۲، ۱۴ و ۱۶ درصد) نشان داد که بازده بعد از الک خمیرکاغذ بین ۵۳-۳۸ درصد متغیر بوده و با شرایط ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، ۳۰ دقیقه و ۱۶ درصد، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن  $5/322 \text{ KPa.m}^2/\text{gr}$  و مقاومت به تا شدن  $3/1 \text{ Log.m}^2/\text{gr}$  دارای بیشترین مقدار است (۱۰).

در مقایسه خمیرکاغذ NSSC ساقه پنبه و صنوبر دلتوئیدس، بازده خمیرکاغذ صنوبر با میانگین  $80/4$  و  $81/25$  درصد در حدود ۲۰ درصد بیشتر از خمیرکاغذ ساقه پنبه با میانگین  $59/74$  و  $62/23$  درصد به ترتیب برای شرایط خمیرسازی با و بدون استفاده از کربنات سدیم بود. کاغذهای ساخته شده از خمیرکاغذ چوب صنوبر در مقایسه با خمیر کاغذ ساقه پنبه ضخامت کمتری داشتند. ولی ویژگی‌های مقاومتی مانند شاخص پارگی، شاخص کشش، طول پارگی، مقاومت‌های RCT و CMT خمیر کاغذ چوب صنوبر از خمیر ساقه پنبه، اندکی بیشتر بود. مقادیر این ویژگی‌ها برای فرآیند

سولفیت خنثی بدون کربنات سدیم در اکثر موارد اندکی بیشتر از فرآیند سولفیت خنثی با کربنات سدیم بود و تفاوت بین این ویژگی‌ها در اکثر موارد از نظر آماری معنی‌دار نبود (۴).

در بررسی دیگری که از فرآیند سولفیت خنثی برای تهیه خمیرکاغذ از نی استفاده شد و شرایط پخت شامل: دما در دو سطح (۱۵۵ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان در دو سطح (۷۵ و ۱۲۰ دقیقه) و درصد مواد شیمیایی ثابت (سولفیت سدیم ۱۵ درصد و بی‌کربنات سدیم ۵ درصد) بود، بازده نهایی خمیرکاغذ بین ۵۸ تا ۶۳ درصد به دست آمد. رنگ‌بری خمیرکاغذ NSSC به روشنی قابل ملاحظه‌ای رسید. خواص مقاومتی خمیرکاغذ شامل طول پاره شدن (m ۴۸۰۰ تا ۴۲۰۰)، شاخص مقاومت در برابر ترکیدن  $1/4-2/3 \text{ Kg/cm}^2$ ، شاخص مقاومت در برابر پاره شدن  $62-71 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ، تعداد تا خوردن مضاعف (۱۴-۶) و روشنی (۵۳-۴۴ درصد) گزارش شد (۲۶).

در بررسی تولید خمیرکاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی از ساقه کلزا، بیشترین بازده به ۷۲ درصد مربوط به ترکیب شرایط پخت شامل سولفیت سدیم ۸ درصد، زمان ۲۰ دقیقه، و درجه‌حرارت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین بازده به ۵۸/۷ درصد مربوط به ترکیب شرایط پخت شامل سولفیت سدیم ۱۶ درصد، زمان ۶۰ دقیقه و درجه‌حرارت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد رسید. شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن و پارگی کاغذ در شرایط پخت شامل سولفیت سدیم ۱۶ درصد، زمان ۶۰ دقیقه و درجه‌حرارت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد به ترتیب  $0/5 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ،  $66/5 \text{ Nm/g}$  و  $2/57 \text{ kPam}^2/\text{g}$  گزارش شد (۳).

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خمیرکاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی برای تهیه کاغذ کنگره‌ای (فلوتینگ) از ساقه سورگم دانه‌ای و مقایسه آن با سایر گیاهان غیرچوبی است.

### مواد و روش‌ها

ساقه سورگم دانه‌ای رقم A<sub>12</sub> مورد آزمایش از ایستگاه تحقیقات آق‌قلا واقع در استان گلستان تهیه شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری و مغزدایی به قطعاتی به طول ۲ تا ۴ سانتی‌متر تبدیل شدند. قطعات برش داده شده و مغزگیری شدند و تا رسیدن به رطوبت تعادل در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از رسیدن به رطوبت تعادل، جهت جلوگیری از تبادل رطوبتی و تغییر میزان رطوبت داخل کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شدند.

برای کاهش وازد و افزایش بازده، بندها و گره نمونه‌های منتقل شده جدا شده و برای جلوگیری از تبادل رطوبتی داخل کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند.

### پخت

مایع پخت فرآیند NSSC شامل محلول سولفیت سدیم ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) است که برای خنثی کردن اسیدهای آلی آزاد شده از ماده لیگنوسولولزی در حین پخت، با مقادیر اندکی از یک ماده بافرکننده مانند بی‌کربنات سدیم ( $\text{NaHCO}_3$ ) یا کربنات سدیم ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) بافر می‌شود.

در این بررسی مایع پخت بر اساس سولفیت سدیم و بی‌کربنات سدیم با نسبت‌های زیر تهیه شد.

- سولفیت سدیم: با مقادیر ۱۰ درصد، ۱۲ درصد و ۱۴ درصد بر مبنای وزن خشک خمیر کاغذ

- نسبت سولفیت سدیم به بی‌کربنات سدیم: ۳ به ۱

- نسبت مایع پخت به ساقه: ۷ به ۱

- وزن ساقه در هر پخت: ۵۰ گرم بر مبنای وزن کاملاً خشک

برای تهیه خمیر کاغذ از درجه حرارت ثابت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. عوامل متغیر لیگنین‌زدایی شامل غلظت مواد شیمیایی و زمان پخت در نظر گرفته شد. خمیر کاغذ NSSC از ساقه سورگم دانه‌ای طبق شرایط موجود در جدول ۱ تهیه شد. قبل از پخت، ساقه سورگم در داخل محفظه پخت به مدت ۲۰ دقیقه تحت آغشته‌گی کامل با مایع پخت قرار گرفت.

جدول ۱- شرایط مختلف پخت خمیر کاغذ NSSC از ساقه سورگم دانه‌ای.

Table 1. Different conditions of NSSC cooking of grain sorghum stalk.

L/W	دمای پخت (درجه سانتی‌گراد) Cooking temp. (درجه سانتی‌گراد)	زمان پخت (دقیقه) Cooking time (min)	مواد شیمیایی (درصد) Chemicals (%)	تیمار Treatment
7:1	170	30	10	A <sub>1a</sub>
		60	10	A <sub>1b</sub>
		90	10	A <sub>1c</sub>
		30	12	A <sub>2a</sub>
		60	12	A <sub>2b</sub>
		90	12	A <sub>2c</sub>
		30	14	A <sub>3a</sub>
		60	14	A <sub>3b</sub>
		90	14	A <sub>3c</sub>

**خمیر کاغذسازی:** ساقه‌های پخته شده تا حدودی حالت چوبی داشته و تیمار شیمیایی انجام شده بر روی آن‌ها در دیگ پخت در حدی نیست که الیاف آن‌ها به آسانی از یکدیگر جدا شوند. پس از اندازه‌گیری بازده بعد از دیگ پخت، جهت جداسازی دستجات الیاف، از یک پراکنده ساز الیاف<sup>۱</sup> آزمایشگاهی استاندارد استفاده شد. جداسازی الیاف با عبور دادن ساقه پخته شده از بین صفحات دفیبراتور در سه مرحله با کم کردن تدریجی فاصله<sup>۲</sup> دو صفحه پس از هر مرحله، صورت گرفت. شستشوی خمیرکاغذ برای خارج کردن مایع پخت سیاه از آن، روی الک ۲۰۰ مش صورت گرفت و بازده بعد از دفیبراتور تعیین شد. سپس خمیرکاغذ روی الک با مش ۱۸ که زیر آن الک با مش ۲۰۰ قرار گرفته بود، ریخته شد و الیاف با فشار آب از الک مش ۱۸ عبور داده شد. مواد باقی مانده روی الک ۱۸ مش به‌عنوان وازده و خمیرکاغذ باقی مانده روی الک ۲۰۰ مش به‌عنوان بازده بعد از الک اندازه‌گیری شد.

پالایش خمیرکاغذ طبق استاندارد ملی ایران ۳۷۹۰ و تعیین درجه روانی آن طبق آیین‌نامه C 19:65 استاندارد اسکن انجام شد. ساخت کاغذ دست‌ساز با جرم پایه ۱۲۷ گرم بر مترمربع مطابق با استاندارد ملی ایران ۳-۳۷۸۸، به‌وسیله ورق‌ساز نوع KCL انجام گرفت.

#### ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز

- جرم پایه: استاندارد ملی ایران ۴۷۱
- ضخامت: استاندارد ملی ایران ۱۵۱
- دانسیته و حجم ویژه کاغذ: استاندارد تاپی ۰۲-om-2۵۸ T
- مقاومت به پاره شدن: استاندارد ملی ایران ۱۲۹۷
- مقاومت به ترکیدن: استاندارد ملی ایران ۱۸۲۱
- مقاومت به کشش: استاندارد ملی ایران ۱۱۱۵
- مقاومت به له شدن کاغذ کنگره‌ای (CMT)<sup>۳</sup>: استاندارد ایزو ۷۲۶۳
- مقاومت به له‌شدگی کاغذ حلقوی (RCT)<sup>۴</sup>: استاندارد ایزو ۱۲۱۹۲
- مقاومت به له‌شدگی لبه کاغذ کنگره‌ای (CCT)<sup>۵</sup>: استاندارد SCAN P ۴۲:۸۱

- 
- 1- Defibrator
  - 2- Gap
  - 3- Corrugating Medium Test
  - 4- Ring Crush Test
  - 5- Corrugated Crush Test

**معادلات نرمال‌سازی:** در محاسبه ضرایب معادله نرمال‌سازی، ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری کاغذ بر اساس میزان اهمیت در محصول نهایی مورد انتظار یعنی کاغذ لایه میانی کنگره‌ای در نظر گرفته شد. به‌منظور مقایسه نتایج حاصل از معادلات نرمال‌سازی، مقادیر هر یک از ویژگی‌های مورد بررسی کاغذها با توجه به ارزش‌گذاری طبق سه الگو مقایسه شد. هدف از این کار، تعیین تیمار بهینه پخت با توجه به وضعیت رتبه‌بندی بر اساس سه الگوی تعریف شده می‌باشد.

### نتایج و بحث

**بازده و وازد خمیرکاغذ:** نتایج به‌دست آمده پخت NSSC از ساقه سورگم دانه‌ای در جدول ۲ آمده است. بازده بعد از دیگ پخت با بازده بعد از دفیبراتور تفاوتی در حدود ۳-۲ درصد دارد که این تفاوت می‌تواند به‌دلیل زیاد بودن سهم نسبی عناصر غیرلیفی (بیش از ۵۰ درصد) که عمدتاً شامل سلول‌های پارانشیمی است (۱۳) و خروج آن‌ها به‌صورت نرمه<sup>۱</sup> در حین جداسازی الیاف در دفیبراتور باشد.

جدول ۲- نتایج پخت NSSC از ساقه سورگم دانه‌ای.

Table 2. Result of NSSC cooking of grain sorghum stalk.

تیمار Treatment	بازده کل بعد از دیگ پخت (درصد) Yield after cooking (%)	بازده کل بعد از دفیبراتور (درصد) Yield after defiberator (%)	بازده بعد از الک (درصد) Screen yield (%)	وازد (درصد) Rejects (%)
A <sub>1a</sub>	50.51	47.22	39.10	8.12
A <sub>1b</sub>	49.50	46.22	42.02	4.20
A <sub>1c</sub>	43.33	40.38	38.81	1.57
A <sub>2a</sub>	50.18	48.02	45.74	2.28
A <sub>2b</sub>	45.62	42.50	41.10	1.40
A <sub>2c</sub>	41.77	38.94	38.42	0.52
A <sub>3a</sub>	48.02	45.87	39.89	5.98
A <sub>3b</sub>	43.15	40.05	38.95	1.10
A <sub>3c</sub>	41.16	38.01	37.51	0.50

تغییرات بازده و وازد خمیرکاغذ در اثر تشدید شرایط پخت (افزایش زمان پخت و درصد مواد شیمیایی) در جدول ۲ مشهود است. بازده کل خمیرکاغذ NSSC ساقه سورگم دانه‌ای بین ۴۸/۰۲۲-۳۸/۰۱ درصد به‌دست آمد. نتایج نشان داد که بازده خمیرکاغذ سورگم دانه‌ای نسبت به خمیر کاغذ

1- Fine



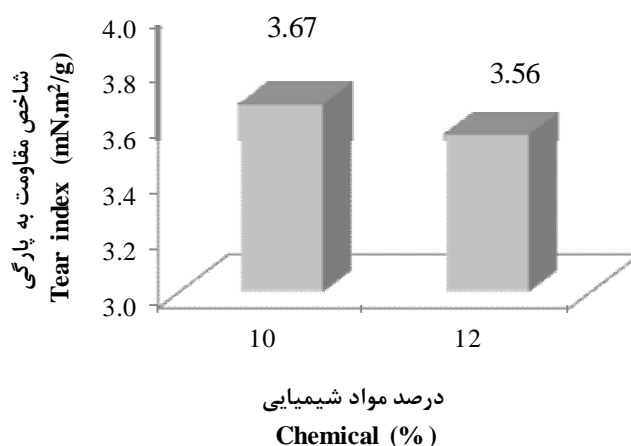
نیمه‌شیمیایی باگاس، ساقه پنبه، آفتابگردان و کلزا (۴، ۸، ۱۷ و ۱۹) کمتر و با خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی کاه گندم (۲۷) مشابه است. زیاد بودن درصد مواد استخراجی (قابل حل در سود ۱ درصد و استن) از عوامل مهم دیگر در افت بازده سورگم دانه‌ای است که تأییدی بر کاهش ارزش اقتصادی آن برای تولید خمیرکاغذ است (۱۳). آنالیز بازده نشان داد که درصد مواد شیمیایی و زمان پخت به‌عنوان عوامل متغیر خمیرسازی تأثیر داری روی بازده خمیرکاغذ داشتند و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. در تولید خمیرکاغذ نیمه‌شیمیایی از چوب صنوبر، عوامل تأثیرگذار بر بازده خمیرکاغذ شامل کربنات کلسیم در مقدار کمتر سولفیت سدیم و درجه حرارت زیاد پخت گزارش شده‌اند (۵). با توجه به این که دمای پخت به‌عنوان عامل ثابت و ماده شیمیایی به‌عنوان عامل متغیر در نظر گرفته شده، استفاده از تیمار A<sub>2a</sub> با زمان پخت و درصد ماده شیمیایی کمتر منجر به بهبود بازده شده است. ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذهای دست‌ساز: خمیرکاغذهای به‌دست آمده از تیمارهای A<sub>1b</sub> و A<sub>2a</sub> به‌دلیل بازده بیشتر به‌عنوان تیمار بهینه برای ساخت کاغذ دست‌ساز انتخاب شدند. پس از ساخت کاغذ دست‌ساز، آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی بر روی آن‌ها انجام شد که در جدول ۳ نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکی کاغذ آورده شده است.

جدول ۳- نتایج ویژگی‌های فیزیکی کاغذ دست‌ساز.

Table 3. Results of handsheet physical properties.

حجم ویژه Bulk (cm <sup>3</sup> /g)	دانسیتیه کاغذ Density (g/cm <sup>3</sup> )	ضخامت کاغذ Thickness (μm)	جرم پایه Grammage (g/m <sup>2</sup> )	زمان پخت Cooking time (min)	مواد شیمیایی Chemicals (%)	تیمار Treatment
1.58	0.634	205	130	60	10	A <sub>1b</sub>
1.78	0.561	222	125	30	12	A <sub>2a</sub>

شاخص مقاومت به پارگی کاغذ: به‌علت این‌که از خمیرکاغذ NSSC برای تولید لایه میانی کارتن جهت بسته‌بندی استفاده زیادی می‌شود، برآورد مقاومت به پارگی خمیرکاغذ NSSC ساقه سورگم دانه‌ای اهمیت دارد. این ویژگی با افزایش درصد مواد شیمیایی و کاهش زمان پخت کاهش یافته است. افزایش همی‌سلولزهای خمیرکاغذ و به تبع آن افزایش بازده پخت می‌تواند باعث صلبیت اتصالات بین الیاف شده و شاخص پارگی کاغذ را کاهش دهد (۲۲).



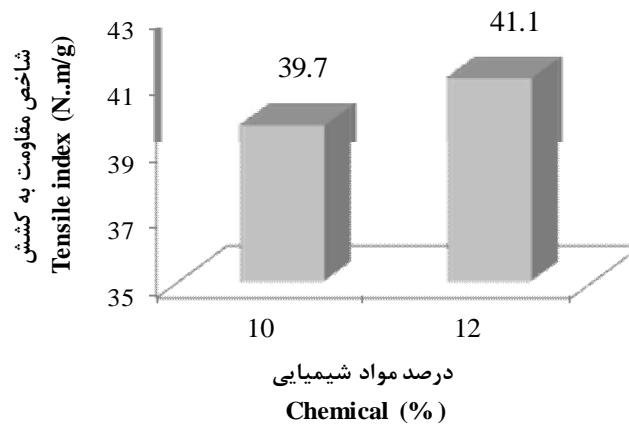
شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص مقاومت به پارگی کاغذ دست‌ساز.

Figure 1. Comparison of handsheet tear index

شاخص مقاومت به پارگی سورگم دانه‌ای نسبت به میانگین خمیر کاغذ سودای سورگم ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )  $3/34-3/71$  (۱۳) و میانگین خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی کلزا ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )  $2/15-4/87$  (۹) مشابه بوده و از آفتابگردان ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )  $5/71$  (۱۷)، نی ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )  $6/2-7/1$  (۲۶) و شاخص پارگی در جهت ماشین کاغذ کنگره‌ای چوب و کاغذ مازندران ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )  $7/80$  کمتر است.

**شاخص مقاومت به کشش کاغذ:** نتایج نشان می‌دهد که ماده شیمیایی تأثیر بیشتری از زمان پخت روی شاخص مقاومت به کشش داشته است به طوری که شاخص مقاومت به کشش تیمار ۱۲ درصد ماده شیمیایی در زمان پخت ۳۰ دقیقه کمی بیشتر شده است. این شاخص با افزایش مقاومت اتصال و تعداد اتصالات الیاف بهبود می‌یابد. افزایش بازده پخت در اثر افزایش همی سلولزها می‌تواند منجر به افزایش مقاومت اتصال (تیمار  $A_{2a}$ ) و در نتیجه افزایش شاخص مقاومت کششی کاغذ شود (۲۲).

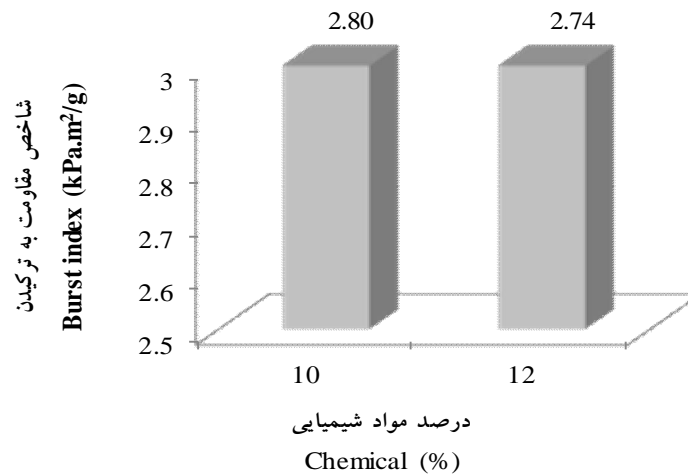
شاخص مقاومت به کشش سورگم دانه‌ای نسبت به میانگین شاخص کششی خمیر کاغذ سودای سورگم ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )  $40/31-52/12$  (۱۳) کمتر و از مقاومت به کشش خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی آفتابگردان (۱۷)، کلزا (۳ و ۹) بیشتر می‌باشد. روند تغییرات این ویژگی با افزایش درصد مواد شیمیایی و کاهش مدت زمان پخت، مشابه شاخص مقاومت کششی خمیر کاغذ سودای سورگم می‌باشد (۱۳).



شکل ۲- مقایسه میانگین شاخص مقاومت به کشش کاغذ دست‌ساز.

Figure 2. Comparison of handsheet tensile index.

شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ: مقاومت به ترکیدن تحت تأثیر اتصال بین الیاف می‌باشد. هر چه الیاف انعطاف‌پذیرتر باشند به دلیل ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر، پیوند بین الیاف افزایش یافته و در نتیجه مقاومت به ترکیدن کاغذ افزایش می‌یابد (۱). مقاومت به ترکیدن تحت تأثیر شکل‌گیری کاغذ نیز بوده و با گراماژ کاغذ متناسب است و به شدت تحت تأثیر رطوبت قرار می‌گیرد. بنابراین این آزمون باید تحت شرایط رطوبتی استاندارد صورت گیرد.



شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ دست‌ساز.

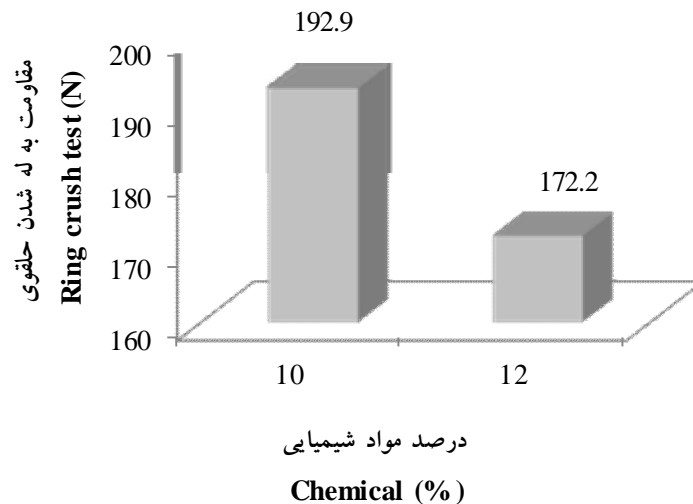
Figure 3. Comparison of handsheet burst index.

شکل ۳ نشان می‌دهد که شاخص ترکیدن کاغذ ساخته شده از خمیر کاغذ دو تیمار منتخب تفاوت قابل توجهی با هم نداشته و با افزایش درصد مواد شیمیایی و کاهش زمان پخت از ۶۰ به ۳۰ دقیقه، این شاخص کاهش ناچیزی یافته است. علی‌رغم روند معمول هم‌راستایی تغییرات شاخص کششی و ترکیدن کاغذ، گاهی اوقات این روند معکوس بوده و با افزایش یک شاخص، دیگری کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال، افت مقاومت به ترکیدن خمیر کاغذ سودای سورگم در اثر افزایش مواد شیمیایی از ۱۲ به ۱۳ درصد و کاهش مدت زمان رسیدن به دمای بیشینه پخت از ۹۵ به ۸۰ دقیقه توسط کریستووا (۱۹۹۰) گزارش شده است (۱۳). همچنین جهان‌لتیباری و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله‌ای که به بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ CMP رنگبری شده کاه گندم می‌پردازد، روند معکوسی برای تغییرات شاخص کشش و ترکیدن کاغذ رنگبری شده با افزایش مواد رنگبر خمیر کاغذ گزارش نموده‌اند (۱۴).

میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن سورگم دانه‌ای با خمیر کاغذ سودای سورگم ( $kPam^2/g$ ) ۲/۷۸-۲/۶۵ (۱۳) مشابه بوده و از شاخص مقاومت به ترکیدن ساقه آفتابگردان با  $1/69 kPam^2/g$ ، ساقه کلزا با حداکثر  $2/57 kPam^2/g$ ، کارخانه چوب و کاغذ مازندران با  $1/97 kPam^2/g$  (۱۷)، نی با  $2/3-1/4 kPam^2/g$  (۲۶) بیشتر بوده و نسبت به کاه گندم (۱۰) کمتر می‌باشد.

**مقاومت به له‌شدن کاغذ حلقوی (RCT):<sup>۱</sup>** در قابلیت‌های کارتن به‌ویژه کارتن کنگره‌ای نقش مهمی را ایفا می‌کنند. این ویژگی با ضخامت کاغذ، مقاومت اتصالات داخلی و مقاومت به عبور هوا همبستگی دارد (۲۱). RCT مقاومت کارتن را در برابر فشارهای دینامیک نشان داده و برای سازنده‌های کارتن راهنمای خوبی است (۲۴).

مقایسه مقاومت به له‌شدگی کاغذ حلقوی تهیه شده از ساقه سورگم دانه‌ای با آفتابگردان (۱۹۴ N) و کارخانه چوب و کاغذ مازندران (۱۸۶ N) (۱۷) نشان می‌دهد که این ویژگی به‌طور تقریبی در همین اندازه می‌باشد. همچنین مقدار این مقاومت از حداقل مقدار مجاز استاندارد کاغذ فلوتینگ (۱۳۵ N) طبق استاندارد ملی ایران ۳۴۸۸ و کاغذ نیمه‌شیمیایی کلزا (۹) بیشتر می‌باشد.

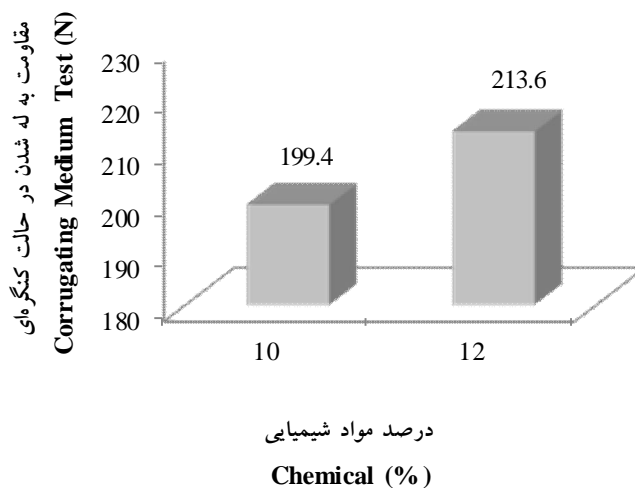


شکل ۴- مقایسه میانگین مقاومت به له شدگی حلقوی کاغذ دست‌ساز.

Figure 4. Comparison of RCT of handsheet.

مقاومت به له شدن کاغذ کنگره‌ای (CMT)<sup>۱</sup>: این ویژگی یکی از مهم‌ترین مقاومت‌های کاغذ کنگره‌ای وسط کارتن می‌باشد و با سطح نسبی اتصالات داخلی<sup>۲</sup> کاغذ ارتباط مستقیم دارد، اما ممکن است با سایر مقاومت‌های کاغذهای بسته‌بندی همبستگی نداشته باشد. میزان سفتی<sup>۳</sup> کاغذ کنگره شده به‌عنوان یک شاخص ارزیابی مهم قبل از اتصال آن به لاینرها است (۲۱ و ۲۳). با کاهش زمان پخت و افزایش درصد مواد شیمیایی در تیمار A<sub>1b</sub> این ویژگی حدود ۷ درصد افزایش یافته‌است که احتمالاً به دلیل خروج بیشتر لیگنین و افزایش نسبی سطح اتصال الیاف می‌باشد. طبق برآوردهای انجام شده میانگین مقاومت به له شدن کاغذ کنگره‌ای سورگم دانه‌ای از ساقه آفتابگردان با ۱۸۵ N و کارخانه چوب و کاغذ مازندران با ۱۳۸ KN/m (۱۷) بیشتر می‌باشد. همچنین مقدار این مقاومت از حداقل مقدار مجاز استاندارد کاغذ فلوتینگ (۱۹۰ N) طبق استاندارد ملی ایران ۳۴۸۸ بیشتر می‌باشد.

- 1- Corrugating Medium Test
- 2- RBA (Relative bounded area)
- 3- Rigidity

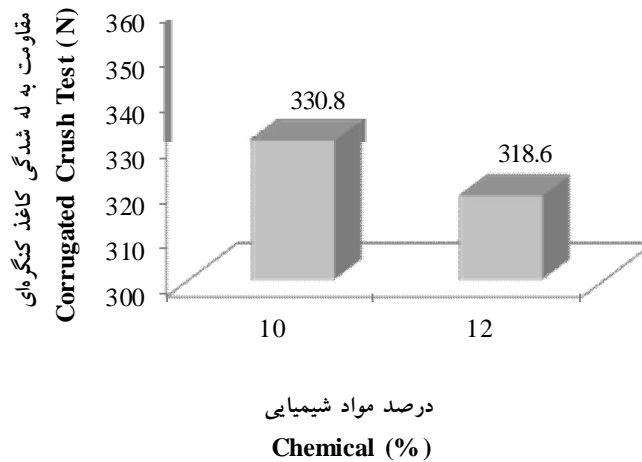


شکل ۵- مقایسه میانگین مقاومت به له شدن کاغذ کنگره‌ای.

Figure 5. Comparison of CMT of handsheet.

مقاومت به له شدن لبه کاغذ کنگره‌ای (CCT)<sup>۱</sup>: این ویژگی با مقاومت به له شدن کاغذ حلقوی (RCT) همبستگی مثبتی دارد و نشان‌دهنده میزان سفتی لبه کاغذ کنگره‌ای است (۲۵). مشابه RCT با افزایش درصد ماده شیمیایی و کاهش زمان پخت، این ویژگی نیز کاهش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که مقاومت به له شدن لبه کاغذ کنگره‌ای ساقه سورگم دانه‌ای بیشتر از کاغذ کنگره‌ای چوب و کاغذ مازندران (۳۰۰ N) و نیز مقدار مجاز استاندارد کاغذ کنگره‌ای (۲۸۰N) طبق استاندارد ملی ایران ۳۴۸۸ می‌باشد.

1- Corrugated Crush Test



شکل ۶- مقایسه میانگین مقاومت له شدگی کاغذ کنگره‌ای.

Figure 6. Comparison of CCT of handsheet.

### نتیجه گیری

ارزیابی بازده بعد از الک خمیر کاغذ سورگم دانه‌ای برای تولید کاغذ کنگره‌ای نشان داد که بازده بعد از الک نسبت به خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی باگاس، ساقه آفتاب‌گردان، پنبه و کلزا کمتر و با کاه گندم مشابه است. با استفاده از تیمار منتخب A<sub>2a</sub> شامل: ۱۲ درصد ماده شیمیایی، زمان پخت ۳۰ دقیقه و دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌توان به بیشترین بازده بعد از الک (۴۵/۷۴ درصد) رسید. امتیازدهی تیمارها با سه الگو نشان داد که استفاده از تیمار منتخب A<sub>1b</sub> شامل: ۱۰ درصد ماده شیمیایی، زمان پخت ۶۰ دقیقه و دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند بهترین مقاومت‌های کاغذ را تأمین کند. کلیه مقاومت‌های خاص کاغذ کنگره‌ای (RCT, CMT, CCT) نسبت به مقادیر مجاز استاندارد ۳۴۸۸ کاغذ کنگره‌ای و شرکت چوب و کاغذ مازندران بیشتر می‌باشد. در مجموع، مقایسه مقاومت‌های کاغذ دست‌ساز نشان داد که این ماده از جایگاه نسبتاً مناسبی برای تولید کاغذ کنگره‌ای در مقایسه با خمیر کاغذ نیمه‌شیمیایی تهیه شده از آفتاب‌گردان، نی، کلزا و کاه گندم برخوردار است و می‌تواند به‌عنوان جبران‌کننده بخشی از کمبود ماده اولیه در خط تولید کاغذ کنگره‌ای شرکت چوب و کاغذ مازندران مطرح باشد.

## سپاسگزاری

به این وسیله از مسئولان محترم بخش تحقیقات علوم چوب و کاغذ مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به خاطر فراهم نمودن امکانات لازم برای انجام این پژوهش و نیز آقای محمد سلیمی مسئول آزمایشگاه شرکت کارتن ایران سپاسگزاری می‌نمایم.

## منابع

1. Afra, E. 2006. Fundamentals of Paper. Ayeizh press, 392p. (Translated in Persian)
2. Afra, E., and Mohammadi, H. 2013. Sorghum bicolor, A New and Valuable Capability of Nonwood lignocellulosic Materials for Pulp and Paper Industry, "J. of Wood and Forest Science and Technology. 19: 4. 21-40. (In Persian)
3. Ahmadi, M., Jahan Latibari, A., Faezipour, M., and Hedjazi, S. 2010. Neutral Sulfite Semi-chemical Pulping of rapeseed residues. Turkish Journal of Agriculture and forestry. 34: 11-16.
4. Akhlaghi Amiri, Z. 2011. Comparison of NSSC pulping of cotton stalks and populus deltoides. M.Sc. thesis, University of agricultural sciences and natural resources of Gorgan, 121p. (In Persian)
5. Area, M.C., Felissia, F.E., Venica, A., and Valade, J.L. 2001. NSSC procecc optimization: Pulping, pulps and spent liquors, Tappi J. 84: 4. 1-12.
6. Biermann, C.J. 1996. Handbook of pulping and papermaking. second ed., Academic Press, New York, 283p.
7. Casey, J.P. 1980. Pulp and paper, Chemistry and chemical technology. Vol. 1. Wiley-Interscience, New York, 720p.
8. Hamasi, A., and Samariha, A. 2005. Effect of Refining on Mechanical Properties of Papers Produced from Baggase by NSSC Process, Journal of agricultural sciences, Islamic azad university. 11: 3. 69-78. (In Persian)
9. Hamasi, A., Pirouz, M., and Mirshokrai, S.A. 2006. Investigation the Properties of Pulp and Paper by Neutral Sulfite Semi-Chemical from Stem of Colza, Journal of agricultural of sciences, Islamic azad university. 12: 4. 925-938 (In Persian)
10. Hosseini, A. 2004. Assessment of wheat straw pulp obtained by neutral sulfite semi-chemical (NSSC) process to produce fluting paper. M.Sc. thesis, Natural resources faculty, Tarbiat modarres university, 104p. (In Persian)
11. Ingruber, O.V., Kocurek, M.J., and Wong, A. 1985. Pulp and paper manufacture, sulfite science and technology, Vol. 4. Joint Textbook Committee of the Paper Industry, TAPPI and CPPA, Atlanta, 604p.
12. Khakifirooz, A., Samariha, A., and Ebrahimpour Kasmani, J. 2011. Neutral Sulfite Semi-Chemical Pulping of bagasse. World Applied Sciences Journal. 13: 1. 85-89.
13. Khristova., P., and Gabir, S. 1990. Soda-Anthraquinone pulping of sorghum stalks, Biological Wastes J. 33: 2. 243-250.



14. Jahan Latibari, A., Hossein, M.A., and Hosseinpour, R. 2012. Investigation on production of bleachable chemi-mechanical pulp from wheat straw, Proceedings of the 55th international convention of society of wood science and technology, August 27-31, Beijing, CHINA. 6p.
15. Mahdavi, S., Hojati, A., Habibi, M., and Fakhriyan roghani, A. 2010. Evaluation of soda pulping from two varieties of grain sorghum, The first national conference on forest, wood and paper industry, Islamic azad university of Astara, 6p. (In Persian)
16. Mirshokrai, S.A. 2003. Pulp and Paper Technology. Ayeizh press, 501p. (Translated in Persian)
17. Roudi, H. 2001. Production of neutral sulfite semi-chemical pulp and evaluation of sunflower stalks to produce fluting paper in Mazandaran wood and paper Co., M.Sc. thesis, Natural resources faculty, Tarbiat modarres university, 120p. (In Persian)
18. Samariha, A. 2010. Study on NSSC bagasse pulp strength for newsprint, National conference on wood and paper technologies, Islamic azad university of Tehran, 8p. (In Persian)
19. Samariha, A., Hamasi, A., Mirshokrai, S.A., and Sepide dam, M. 2005. Investigating the Properties of Paper Made from Bagasse by Neutral Sulfite Semichemical Process, Journal of agricultural sciences, Islamic azad university. 12: 4. 233-245. (In Persian)
20. Saraiyan, A.R., Resalati, H., and Faezipoor, M. 2003. Possibility of high-yield APMP pulping from wheat straw, Ph.D. thesis, Natural resources faculty, Tehran university, 87p. (In Persian)
21. Sarkhosh Rahmani, F., and Talaeipoor, M. 2011. Study on production of fluting paper from wheat straw soda- AQ pulp and OCC pulp blends, Iranian J. Wood Pap. Sci. Res. 26: 2. 387-397. (In Persian)
22. Shin, N.H., and Stromberg, H. 2000. Impact of cooking conditions on physical strength of eucalyptus pulp, Andritz Inc., 13 Pruyn's Island Drive Glens Falls, NY 12801.
23. TAPPI test methods. 2007. Flat crush of corrugating medium (CMT test), T809 om-02, TAPPI press, Atlanta, GA., USA. 6p.
24. TAPPI test methods. 2007. Ring crush of paperboard (RCT), T 822 om-02, TAPPI press, Atlanta, GA., USA. 4p.
25. TAPPI test methods. 2007. Fluted edge crush of corrugating medium (rigid support method), T 843 om-02, TAPPI press, Atlanta, GA., USA.
26. Wiedermann, A. 1987. Reeds, Pulp and Paper manufacture, Secondary Fibers and Non-wood Pulping, TAPPI Press, Atlanta, Vol. 3. 99p.
27. Zhand, S., Masoudifar, M., Saraeian, A.R., and Ghasemiyan, A. 2013. Effect of alkaline pre-treatment on physical, optical and mechanical properties of semi-chemical NSSC wheat straw pulp, Iranian J. Wood Pap. Sci. Res. 28: 2. 366-380. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 22 (3), 2015

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

## NSSC pulping of Grain Sorghum Stalk to Produce Fluting Paper

**F. Tahmasebi<sup>1</sup>, A. Ghassemian<sup>2</sup>, \*S. Mahdavi<sup>3</sup> and A. Saraeyan<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources,

<sup>2</sup>Associate Prof., Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources,

<sup>3</sup>Associate Prof., Wood and Forest Product Devision, RIFR

Received: 11/25/2014; Accepted: 02/24/2013

### Abstract

**Background and objectives:** This study was performed to evaluate the physical and mechanical properties of neutral sulfite semi-chemical pulp (NSSC) produced from grain sorghum stalk (*Sorghum bicolor*) and comparison with other non-woody plants for making fluting paper. The researchers have stated that productivity of sorghum for pulping decrease due to the high ratio of non-fibrous (mainly parenchyma, up to 48%). Furthermore, high content of ash and extractives soluble in sodium hydroxide 1%, low cellulose content and degradation of carbohydrates during various statures of cooking from effectiveness factors of decreasing pulp yield, have been reported.

**Materials and methods:** sorghum stalk (Var. A<sub>12</sub>) was obtained from Aq-Qala research station located in Golestan province. The NSSC pulping carried out based on three levels of sodium sulfite (SS) 10%, 12% and 14%, the ratio of sodium carbonated to sodium sulfite 1 to 3, liquor to straw: 7 to 1 and constant temperature 170 °C after preparation of the sample. Pulp reject and screen yield was determined using 18 mesh sieve at the top and 200 mesh sieve at the bottom, respectively. After refining the selected higher yield pulp to 31 °SR, 127 g/m<sup>2</sup> handsheets were made by KCL sheetformer.

**Results:** The screen yield pulp of grain sorghum compared to the same types of pulp made from bagasse, sunflower stalks, cotton, and canola was less similar, whereas similar to wheat straw. The results showed that the highest screen yield (45.74%) was obtained using 30 min and 12% SS and the lowest screen yield (37.51%) attained at 90 min and 14% SS. The result showed that optimum buffered sulfite pulping for grain sorghum stalk could be achieved by 10% SS, 60 min., and 170°C according to the selected pulps strength including tear, tensile, and burst indices, RCT, CMT, and CCT.

**Conclusion:** Comparison of strengths of handsheet made from grain sorghum showed that this raw material has relatively good properties to produce NSSC pulp in compare with semi-chemical pulp prepared from sunflower, reed, canola and wheat straw; it could be used as compensation a part of the shortage of raw material to make fluting paper in Mazandaran Wood and Paper Company.

**Keywords:** Grain Sorghum Stalk, NSSC pulp, Yield, Physical Properties, Mechanical Properties

---

\*Corresponding author: smahdavi@rifr-ac.ir