



دانشگاه گورگان، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ

مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل  
جلد نوزدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۱  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## ساقه گیاه جارو (*sorghum bicolor*) ظرفیتی نو و با ارزش از مواد لیگنوسلولزی غیر چوبی برای صنعت خمیر و کاغذ

\*الیاس افرا<sup>۱</sup> و حسین محمدی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،  
<sup>۲</sup>کارشناس ارشد دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۲/۱۸

### چکیده

در این پژوهش به منظور ارزیابی پتانسیل کاغذسازی ساقه گیاه غیر چوبی جارو (*sorghum bicolor*) به بررسی ویژگی‌های ظاهری، شیمیایی و ضرایب کاغذسازی گونه‌های تهیه شده این گیاه از دو منطقه شمال و شمال غرب ایران پرداخته شد. در این پژوهش ساقه‌ها در طول به ۳ قسمت تقسیم شده و پوست و مغز آن‌ها از هم جدا شدند. ویژگی‌های مورفولوژیک الیاف، ضرایب کاغذسازی و درصد ترکیبات شیمیایی هر یک از اجزای پوست و مغز بر اساس استانداردهای تاپی اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده از ضرایب کاغذسازی الیاف ساقه این گیاه بر مبنای طول (۱/۲ میلی‌متر) و ضخامت دیواره لیفی (۲/۵ میکرومتر) آن، نشان می‌دهد که، این منبع لیگنوسلولزی نسبت به منابع غیر چوبی متداول و حتی پهن‌برگان بومی، در جایگاهی مناسب برای تولید کاغذی با مقاومت‌های مکانیکی مطلوب قرار دارد. نتایج آنالیز شیمیایی پوست و مغز ساقه این گیاه بیانگر محتوای سلولز بیش‌تر (۵۳ درصد) و لیگنین کم‌تر (۲۰ درصد) آن در مقایسه با گونه‌های چوبی و غیر چوبی متداول می‌باشد که خود از مهم‌ترین پارامترهای مثبت (سادگی عملیات لیگنین‌زدایی و هزینه‌های تولید کم) این ماده اولیه در تولید کاغذ محسوب می‌شود. با مقایسه نتایج پارامترهای فیزیکی و شیمیایی کاغذسازی از پوست و مغز ساقه گیاه جارو می‌توان دریافت، که در تمام موارد بررسی شده، پوست ساقه کیفیت بهتری نسبت به مغز دارد ولی با توجه به نسبت ناچیز مغز به پوست (بر خلاف بیش‌تر مواد لیگنوسلولزی غیر چوبی) پیش‌بینی می‌شود، خمیر کاغذ به دست آمده از کل ساقه (با مغز)، دارای اختلاف قابل توجهی با خمیر

\* مسئول مکاتبه: [elyasafra@yahoo.com](mailto:elyasafra@yahoo.com)

به‌دست آمده از پوست تنها نخواهد بود. ساقه جارو رشدیافته در شمال کشور در مقایسه با گونه‌های شمال‌غرب کشور به‌دلیل دارا بودن طول الیاف بلندتر، سلولز بیش‌تر و مواد استخراجی کم‌تر به‌عنوان پتانسیلی مناسب‌تر در تولید خمیر کاغذ (همراه با انجام بررسی‌های بیش‌تر) به‌فعالان این حوزه صنعتی پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *sorghum bicolor*، خواص مورفولوژیکی، ضرایب کاغذسازی، ترکیبات شیمیایی

### مقدمه

ایران با داشتن حدود ۰/۰۲ هکتار سرانه جنگل برای هر نفر، جزو کشورهای فقیر از نظر منابع جنگلی محسوب می‌شود و از سویی دیگر، نیاز شدید صنایع و کارخانجات سلولزی (مانند کارخانجات تولید خمیر و کاغذ) به تامین منابع اولیه ایجاب می‌کند که با معرفی منابع جدیدی از مواد لیگنوسلولزی، از یک سوی، موجبات حفاظت از جنگل‌ها فراهم شود و از سوی دیگر، به‌نحوی مشکل تامین منابع اولیه این کارخانجات برطرف شود. از راه‌کارهای اصلی رفع این مشکل می‌توان به‌باز یافت کاغذ و استفاده از گیاهان لیگنوسلولزی غیرچوبی اشاره نمود. در ارتباط با مورد دوم، تا به‌حال بر روی گونه‌های مختلفی مانند باگاس، کنف، ساقه برنج و گندم به‌منظور بررسی امکان استفاده از آن‌ها در تولید خمیر و کاغذ پژوهش‌هایی چه در داخل و چه در خارج از کشور صورت گرفته است که در برخی موارد نتایج مناسبی به‌دست آمده است. یکی از این منابع اولیه که تا به‌حال توجهی به آن نشده است استفاده از پسماند ساقه گیاه جارو (سورگوم جارویی) می‌باشد. سورگوم زراعی با نام علمی موانچ (ال) سورگوم بیوکالر<sup>۱</sup> گیاهی از خانواده غلات است که در ایران ذرت خوشه‌ای (سورگوم جارویی) نامیده می‌شود. سورگوم، گیاهی تک‌لپه‌ای است که به خانواده گندمیان تعلق دارد. سورگوم در حدود ۳۰ گونه دارد که سورگوم جارویی یکی از آن‌ها می‌باشد. با توجه به شباهت ظاهری این گیاه با ذرت و ارزن که باعث شده آمار سطح کشت این سه گیاه با هم مخلوط شود، برای ایجاد تمایز میان این سه، از اسم سورگوم که یک اسم جهانی برای این گیاه است استفاده می‌شود. سورگوم از نظر اهمیت در بین غلات در دنیا بعد از گندم، برنج، ذرت و جو در مقام پنجم قرار دارد. آمار سطح زیر کشت سورگوم در ایران در سال ۱۹۸۵ فقط ۶ هکتار گزارش شده که در سال ۱۳۸۲ به حدود ۴۰ هزار هکتار افزایش یافته است (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۰۷-۲۰۰۶). توده‌های زراعی بومی سورگوم در ایران

1- Moench (L) *Sorghum bicolor*

در مناطق جنوب خراسان، سیستان، کرمان، اصفهان، یزد، گیلان، مازندران و بنادر جنوبی به طور پراکنده وجود دارد. با این حال، در منطقه وسیعی از زمین‌های استان آذربایجان شرقی برای تهیه غذای دام و تولید جاروی دستی کشت می‌شود. سورگوم با شرایط آب و هوایی ایران به ویژه مناطق گرم و خشک و معتدل آن سازگاری خوبی دارد. این گیاه برای رشد و نمو نسبت به سایر غلات به آب کمتری نیاز دارد و در مقایسه با ذرت که در صورت زیادی آب در پای بوته، از بین می‌رود، سورگوم در چنین شرایطی، به رشد خود ادامه می‌دهد. همچنین، سورگوم نسبت به شوری آب و خاک، خشکی و مسمومیت آلومینیوم تحمل خوبی دارد. موارد مصرف دانه سورگوم به موازات مصارف ذرت و جو است، از آن به عنوان غذای انسان و خوراک دام و طیور و همچنین در صنایع نشاسته و الکل سازی استفاده می‌شود. سورگوم در کشورهای پیشرفته به عنوان خوراک دام و طیور مورد استفاده قرار می‌گیرد. در آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی (۲۰۰۶-۲۰۰۷) داده‌های مستقلی در مورد میزان تولید و سطح زیر کشت سورگوم وجود ندارد و آن را در گروه سایر نباتات علوفه‌ای، با سطح زیر کشت حدود ۲۹۴۹۳۴ هکتار طبقه‌بندی کرده‌اند. شکل ۱ نمایی از بخش میوه گونه‌های مختلف سورگوم را نشان می‌دهد (آمارنامه کشاورزی، ۲۰۰۶-۲۰۰۷).



شکل ۱- گونه‌های مختلف گیاه سورگوم.

با توجه به تأثیر مستقیم خواص مورفولوژیکی، شیمیایی و ضرایب کاغذسازی بر روی خواص ظاهری و مقاومتی کاغذ ساخته شده از آن، مطالعه و بررسی این خواص اولین و مهم‌ترین مرحله در معرفی یک گونه به عنوان ماده اولیه مناسب برای صنعت خمیر و کاغذ می‌باشد. بلاپاچی و دیلماش

(۱۹۹۵) با معرفی سورگوم شیرین به‌عنوان ماده اولیه با کیفیت برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی اعلام کردند که این گونه حدود ۴۹-۴۲ درصد سلولز و ۱۶-۱۴ درصد لیگنین دارد. در همین راستا، گونه غیرچوبی استرکولیا ویلوسا رکسب<sup>۱</sup> به‌عنوان پتانسیلی از الیاف لیگنوسلولزی برای تولید خمیرکاغذ معرفی و طول متوسط الیاف آن را ۱/۲ میلی‌متر اعلام شده است (گوش و باروا، ۱۹۹۷). بوته سینارا کاردون‌کولوس ال<sup>۲</sup> نیز به‌عنوان محصولی جدید برای تولید خمیرکاغذ اعلام شد، که از نظر آناتومیکی، الیاف این گونه ۱/۳ میلی‌متر طول، ۱۸/۸ میکرومتر قطر و ۴/۸ میکرومتر ضخامت دیواره دارد. این گونه شامل ۷/۷ درصد خاکستر، ۱۴/۶ درصد مواد استخراجی، ۱۷ درصد لیگنین و ۵۳ درصد پلی‌ساکارید (به‌طور عمده سلولز و گزیلان) می‌باشد (گومینهو و همکاران، ۲۰۰۱).

وروریس و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی ابعاد الیاف و مقدار سلولز و لیگنین گیاهان مختلف به‌منظور بررسی مناسب بودن آن‌ها برای تولید کاغذ به این نتیجه رسیدند، گیاهانی مانند کنف و نی خواص بسیار خوبی (مانند ضریب لاغری بالا) دارند، که این مقادیر با برخی از سوزنی‌برگان و بسیاری از پهن‌برگان قابل مقایسه می‌باشد، ولی ساقه پنبه الیاف کوتاه‌تری دارد و ضریب رانکل و انعطاف‌پذیری آن کم‌تر است، با این حال، هنوز ضریب لاغری مناسبی دارد. آنالیز شیمیایی نیز مقادیر رضایت‌بخشی را از آلفا-سلولز و لیگنین کلاسون برای الیاف غیرچوبی نسبت به سوزنی‌برگان و پهن‌برگان نشان دادند.

احمدی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی ویژگی‌های آناتومی و شیمیایی ساقه شال کنف به این نتیجه رسیدند که درصد سلولز، لیگنین، مواد استخراجی محلول در سود ۱ درصد، آب داغ و استون و نیز درصد ترکیبات معدنی این گیاه به‌ترتیب ۵۰/۶۵، ۱۷/۵، ۴۱/۷۲، ۱۰/۱، ۱۰/۲ و ۴/۴ بوده است. مقایسه ترکیب شیمیایی تشکیل‌دهنده ساقه شال کنف با سایر گیاهان غیرچوبی نشان می‌دهد، مقدار سلولز موجود در آن از ساقه آفتاب‌گردان بیش‌تر و از باگاس و کاه گندم کم‌تر است. مقدار لیگنین غیرمحلول در اسید آن نیز از باگاس، ساقه آفتاب‌گردان و کاه گندم کم‌تر است.

دهقانی و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثر زمان برداشت بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و عملکرد الیاف ساقه کنف اعلام کردند، با افزایش دوره رشد، طول، قطر الیاف و قطر حفره افزایش می‌یابد و بیش‌ترین طول الیاف برای ساقه کنف ۳/۱۸۱ میلی‌متر می‌باشد. شاخص و همکاران (۲۰۰۸) نیز با بررسی تأثیر رقم بر خصوصیات مورفولوژیکی الیاف پوست کنف به این نتیجه رسیدند، رقم کوبا با میانگین ۳/۱۴۱ میلی‌متر، بلندترین طول فیبر را در بین ارقام دارد.

1- *Sterculia Villosa Roxb*

2- *Cynara Cardunculus L.*

شوب چاری و سرائیان (۲۰۰۸) با بررسی خواص بیومتری الیاف و ویژگی‌های شیمیایی پوست و مغز ساقه پنبه ساحل، به این نتیجه رسیدند، قطر فیبر، قطر حفره و ضخامت دیواره سلولی الیاف مغز نسبت به پوست بیش تر می‌باشد، در حالی که پوست، الیاف بلندتری دارد. همچنین، بیشترین طول فیبر در این بررسی مربوط به قسمت پایین پوست ساقه (۱/۱۹۱ میلی‌متر) و کمترین مقدار آن مربوط به قسمت بالای مغز ساقه (۰/۶۷۱ میلی‌متر) می‌باشد. ضمن آن‌که میانگین ضرایب درهم‌رفتگی، رانکل و انعطاف‌پذیری برای ساقه پنبه به ترتیب ۵۹/۴۲، ۵۵/۱۸۸ و ۶۷/۲۹ و مقدار سلولز مغز و پوست ساقه پنبه به ترتیب ۴۸/۳ و ۳۹/۲۶ درصد اعلام شد. در همین رابطه ابراهیمی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی ساختار آناتومی و ترکیبات شیمیایی کلزا پرداختند و میانگین طول الیاف، ضریب درهم‌رفتگی، ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب رانکل را به ترتیب ۸۱۴ میکرومتر، ۴۸/۴۵، ۷۱/۸۱ و ۳۵/۴۸ اندازه‌گیری کردند. همچنین مقدار سلولز، لیگنین و مواد استخراجی محلول در استن ساقه کلزا را به ترتیب ۴۴/۵، ۲۴/۴۵ و ۱/۳۲ اعلام کردند. همچنین یائو و همکاران (۲۰۰۸) ترکیبات شیمیایی به دست آمده برای سوزنی‌برگان، پهن‌برگان و چند گونه غیرچوبی را با یکدیگر مقایسه کردند (جدول ۱).

جدول ۱- ترکیبات دیواره سلولی گونه‌های سوزنی‌برگ، پهن‌برگ، ساقه برنج، سیزال، جوت و کتان (درصد).

درصد مواد	چوب		مواد غیرچوبی		
	سوزنی‌برگان	پهن‌برگان	کاه برنج	سیزال	
سلولز	۴۰-۴۵	۴۵-۵۰	۲۴-۴۶	۶۶	۶۴
همی سلولز	۲۵-۳۰	۲۱-۳۶	۲۴-۲۸	۱۲	۱۷
لیگنین	۲۶-۳۴	۲۲-۳۰	۴-۶	۱۰	۲
خاکستر	-	-	۸-۱۶	۲	۷

بخشی و کیایی (۲۰۰۸) نیز با بررسی خواص آناتومی و ضرایب کاغذسازی گونه لرگ در منطقه نوشهر به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع درخت طول، قطر و ضخامت دیواره الیاف کاهش و با حرکت از مغز به سمت پوست افزایش می‌یابد. با این مقدمه و اطمینان از این‌که گیاهان لیگنوسلولزی غیرچوبی از پتانسیل خوبی برای تامین مواد اولیه با کیفیت قابل قبول در این صنعت برخوردارند، این پژوهش، با هدف بررسی خواص مورفولوژیکی، شیمیایی و ضرایب کاغذسازی گونه سورگوم جارویی نظیر ارزیابی و معرفی آن به عنوان ماده اولیه جدید و مناسب برای صنایع خمیر و کاغذ صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که این پژوهش اولین مطالعه بر روی این گونه در زمینه صنایع چوب و کاغذ می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی خواص بیومتری و ترکیبات شیمیایی گیاه جارو (*sorghum bicolor*) نمونه‌های مورد نظر از مزارع دو منطقه شمال (آمل) و شمال غرب (میانه) کشور جمع‌آوری شدند. پس از برداشت تصادفی حدود ۲۰ ساقه از هر منطقه، نمونه‌ها به آزمایشگاه گروه مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه گرگان منتقل شدند. میانگین طول و قطر ساقه‌ها، نسبت پوست و مغز به کل ساقه و در نهایت نسبت مغز به پوست اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری نسبت پوست و مغز به کل ساقه، پوست و مغز ساقه‌هایی که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند به روش دستی به دقت از هم جدا شدند و پس از خشک کردن آن‌ها در آون تحت دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت توزین و نسبت‌های مورد نظر به دست آمد. برای اندازه‌گیری خواص مورفولوژیک، از میان هر دسته نمونه‌هایی به اندازه ۲ سانتی‌متر به صورت کاملاً تصادفی انتخاب و پس از جدا کردن پوست و مغز آن‌ها در کیسه‌های علامت‌گذاری شده به صورت جداگانه بسته‌بندی شدند. اندازه‌گیری ابعاد با استفاده از روش فرانکلین (۱۹۵۴) انجام گرفت. برای اندازه‌گیری ابعاد الیاف از میکروسکوپ نوری مجهز به چشمی مدرج استفاده شد. برای هر نمونه طول، قطر کلی فیبر، قطر حفره (لومن) و ضخامت دیواره ۵۰ فیبر اندازه‌گیری شد. پارامترهای ارزیابی شده در این بخش عبارت بودند از:

- طول الیاف (L) که عامل تعیین‌کننده‌ای برای انتخاب نوع کاربرد آن ماده بوده و گونه‌های بهتر، الیافی با طول بلندتر تولید می‌کنند.
- قطر الیاف (D) که بر روی همه ضرایب کاغذسازی از جمله ضرایب انعطاف‌پذیری و درهم‌رفتگی الیاف تأثیر می‌گذارد.
- قطر حفره الیاف (C) که ضریب انعطاف‌پذیری الیاف را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- ضخامت دیواره (P) که ضریب رانکل (مقاومت به پارگی) را تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- ضریب انعطاف‌پذیری که نسبت قطر حفره به قطر فیبر می‌باشد. با افزایش این ضریب کاغذ به دست آمده در برابر ترکیدن و گسیخته شدن انعطاف‌پذیری بیش‌تری از خود نشان می‌دهد.
- ضریب درهم‌رفتگی (ضریب نمدی شدن) که نسبت طول به قطر فیبر می‌باشد. با افزایش طول، نمدی شدن بهتر انجام می‌شود و در نتیجه کاغذ مقاوم‌تری به دست می‌آید.
- ضریب رانکل (مقاومت به پارگی) که نسبت ۲ برابر ضخامت دیواره به قطر حفره الیاف می‌باشد (بخشی و همکاران، ۲۰۰۸).

پس از تهیه آرد چوب با دستورالعمل ۸۵-۲۵۷ cm-T و تهیه پودر عاری از مواد استخراجی با دستورالعمل ۹۷-۲۶۴ cm-T، مقدار سلولز با روش اسید نیتریک طبق دستورالعمل ۸۸-۲۶۱ om-T، لیگنین طبق دستورالعمل ۸۸-۲۲۲ om-T، مواد استخراجی طبق دستورالعمل ۹۷-۲۰۴ cm-T و سپس میزان خاکستر طبق دستورالعمل ۰۲-۲۱۱ om-T براساس استاندارد تاپی تعیین شد.

برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، میانگین داده‌ها محاسبه و به منظور مقایسه میانگین ابعاد الیاف و ضرایب بیومتریکی از آزمون T-test با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

### نتایج و بحث

در این پژوهش طول و قطر متوسط ساقه گیاه جارو، پس از بریدن پایه آن در ارتفاع ۳۰ سانتی متری از سطح زمین به ترتیب ۱۸۰ سانتی متر و ۱۷/۰۶ میلی متر و قطر متوسط ساقه گیاه در ارتفاع ۱۵۰ سانتی متری آن ۱۵/۰۳ میلی متر محاسبه شد. باید توجه شود، طول اعلام شده مربوط به ساقه گیاه پس از قطع قسمت سنبله به همراه بخشی از بالای ساقه می‌باشد، بنابراین طول واقعی گیاه با احتساب قسمت قطع شده حدوداً به ۲۵۰ سانتی متر می‌رسد.

این ارتفاع حتی پس از قطع قسمت بالای آن، هنوز از ارتفاع اعلام شده توسط دهقانی و همکاران (۲۰۰۸) برای ساقه کنف در ۱۵۵ روز پس از کشت (۱۶۱/۶۵ سانتی متر) بیش تر می‌باشد. طبق گزارش‌های ایشان، قطر ساقه کنف در بهترین حالت به میانگین ۸/۱۴ میلی متر می‌رسد که نسبت به میانگین قطر ساقه گیاه جارو (۱۷/۰۳ میلی متر) بسیار کم تر می‌باشد (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۸). به این ترتیب، در یک نگاه کلی و با قیاسی ساده استنباط می‌شود، ساقه گیاه جارو از بیومس قابل قبولی به‌عنوان یک ماده اولیه لیگنوسلولزی برخوردار است.

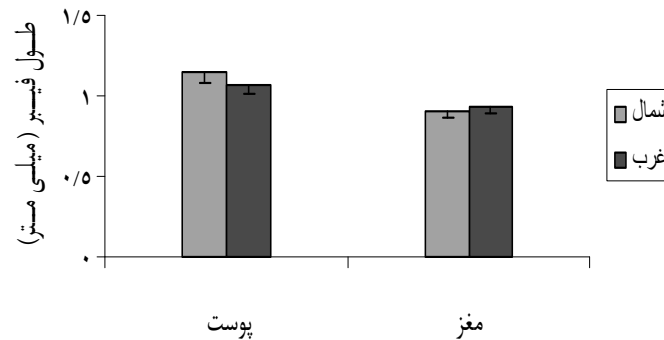
به‌طور کلی، الیاف از نظر طول در ۳ گروه الیاف کوتاه (کم تر از ۹۰۰ میکرومتر)، الیاف متوسط (۹۰۰-۱۶۰۰ میکرومتر) و الیاف بلند (بیش تر از ۱۶۰۰ میکرومتر) قرار می‌گیرند (احمدی و همکاران، ۲۰۰۸). میانگین طول، قطر داخلی و ضخامت دیواره الیاف پوست و مغز نمونه‌های سورگوم جارویی جمع‌آوری شده از شمال و شمال غرب در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- میانگین طول، قطر فیبر، قطر حفره و ضخامت دیواره الیاف پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال‌غرب.

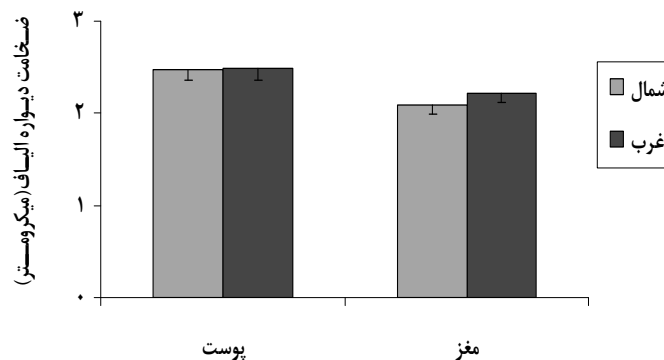
نوع الیاف	منشاء	طول فیبر (L) (میلی‌متر)	قطر فیبر (D) (میکرومتر)	قطر حفره (C) (میکرومتر)	ضخامت دیواره (P) (میکرومتر)
پوست	پایین	شمال	۱/۲۶۴۷۷	۱۹/۸۳۹	۱۴/۵۶۰۵
		شمال‌غرب	۱/۲۰۰۹۶	۱۷/۳۱۴۵	۱۱/۸۳۲
	وسط	شمال	۱/۱۹۹۸۶	۲۱/۹۸۱	۱۶/۲۴۳۵
		شمال‌غرب	۱/۰۱۲۴۸	۱۱/۶۰۲۵	۷/۰۶۳۵
	بالا	شمال	۰/۹۸۶۳۶۹	۱۰/۳۲۵	۶/۴۷۵
		شمال‌غرب	۱/۰۰۴۶۹	۱۶/۳۷۱	۱۱/۴۴۹۵
مغز	پایین	شمال	۰/۸۷۲۹۲	۱۲/۲۴	۷/۴۸
		شمال‌غرب	۰/۹۸۰۴۱۲	۱۷/۴۲۵	۱۱/۴۳۲۵
	وسط	شمال	۰/۸۱۵۴۶۷	۸/۸۴	۵/۰۱۵
		شمال‌غرب	۰/۹۶۱۸۸	۱۱/۱۳۵	۷/۵۶۵
	بالا	شمال	۱/۰۴۱۱۵	۸/۳۴۹۰۴	۴/۴۰۰۸
		شمال‌غرب	۰/۸۵۴۳۸۷	۱۱/۴۷۵	۷/۶۹۲۵

همان‌طوری که در جدول بالا مشاهده می‌شود، میانگین طول الیاف پوست بیش‌تر از مغز ساقه می‌باشد و این تفاوت در نمونه شمال مشهودتر است. با توجه به داده‌های جدول، می‌توان نتیجه گرفت طول الیاف گیاه جارو در بخش پوست و مغز در محدوده الیاف با طول متوسط قرار می‌گیرند. از این‌رو، این گونه گیاهی از منظر طول الیاف، جزء گونه‌های مناسب برای صنایع متداول کاغذسازی به‌شمار می‌رود. قطر داخلی و ضخامت دیواره الیاف پوست در هر دو نمونه، بیش‌تر از مقدار آن در الیاف مغز می‌باشد. همچنین، به‌طور کلی با افزایش ارتفاع ساقه، همه خواص آناتومیکی الیاف کاهش می‌یابد ولی این کاهش از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.





شکل ۲- مقایسه طول الیاف پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال‌غرب.



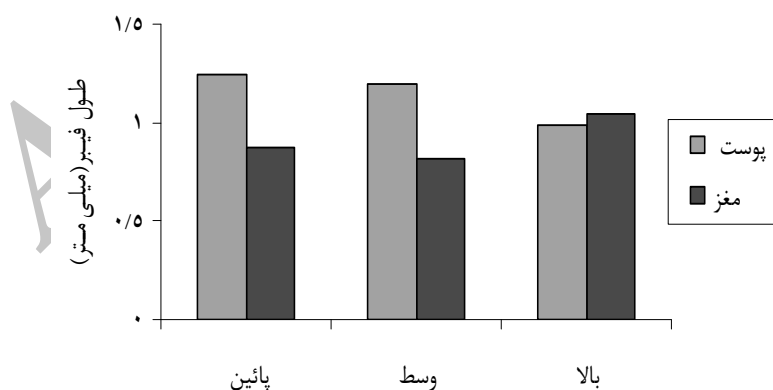
شکل ۳- مقایسه ضخامت دیواره الیاف پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال‌غرب.

با توجه به شکل ۲ ملاحظه می‌شود که، طول الیاف پوست بلندتر از الیاف مغز می‌باشد و در بین نمونه‌ها پوست ساقه‌های شمال دارای طول بیشتری می‌باشند. بیش‌ترین مقدار طول الیاف به‌دست آمده (۱/۲۵ میلی‌متر) مربوط به قسمت پایین ساقه به‌دست آمده از شمال کشور و پس از آن قسمت پایین ساقه شمال‌غرب (۱/۲ میلی‌متر) می‌باشد که هر دو، از مقادیر به‌دست آمده برای کلزا به‌میزان ۱/۸۱۴ میلی‌متر (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۸)، ساقه پنبه به‌میزان ۱/۱۹۱ میلی‌متر (شوب‌چاری و سرائیان، ۲۰۰۸) بیش‌تر و از طول فیبر پوست ساقه کنف به‌میزان ۳/۱۸۱ میلی‌متر و ۳/۱۴۱ میلی‌متر کم‌تر می‌باشد (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ شاخص و همکاران، ۲۰۰۸). طول الیاف پوست ساقه

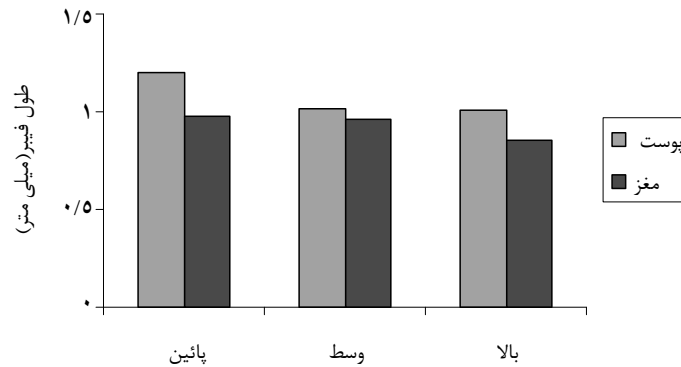
جارو تقریباً برابر با طول اعلام شده برای گونه سینارا کاردان کولوس ال به میزان  $1/3$  میلی‌متر (گومینهو و همکاران، ۲۰۰۱) و گونه استرکولیا ویلوسا روکسب به میزان  $1/2$  میلی‌متر می‌باشد (گوش و باروا، ۱۹۹۸). نتایج نشان داد، از نظر آماری بین طول الیاف پوست و مغز اختلاف معنی‌داری وجود دارد ولی این اختلاف بین نمونه‌های شمال و شمال‌غرب در بخش پوست و یا مغز در سطح ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشد.

همان‌گونه که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، در مجموع، ضخامت دیواره الیاف پوست بیش‌تر از الیاف مغز می‌باشد که این اختلاف از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. هر چند، در میان الیاف پوست و یا مغز، نمونه‌های شمال و شمال‌غرب اختلاف چندانی دیده نمی‌شود. نتایج نشان دادند که از نظر طول، قطر و ضخامت الیاف، در ارتفاع‌های مختلف ساقه گیاه جارو، تفاوت‌هایی وجود دارد. شکل‌های ۴ و ۵ تفاوت طول الیاف در سه ارتفاع پایین، وسط و بالای ساقه نمونه‌های شمال و شمال‌غرب را نشان می‌دهند.

همان‌طوری که مشاهده می‌شود، به‌طور کلی، هم در دو نمونه، از سمت پایین به بالای ساقه، طول الیاف هم در بخش پوست و هم در بخش مغز کاهش می‌یابد. این مطلب بیانگر آن است که قسمت‌های پایین‌تر ساقه گیاه جارو دارای مطلوبیت بیش‌تری برای خمیرکاغذ هستند، که معمولاً این قسمت از ساقه، پس از برداشت، به‌عنوان پسماند روی زمین باقی می‌ماند.



شکل ۴- مقایسه طول فیبر در ارتفاع‌های مختلف ساقه شمال.

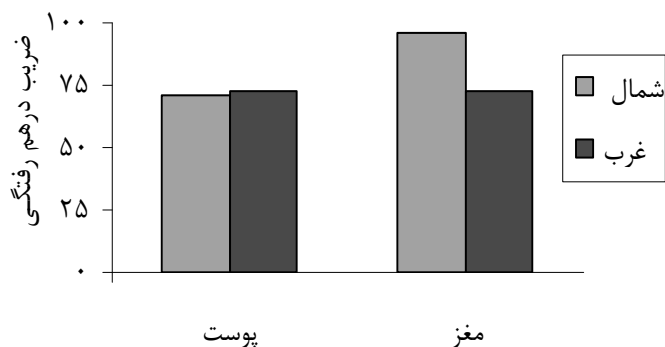


شکل ۵- مقایسه طول فیبر در ارتفاع‌های مختلف ساقه شمال غرب.

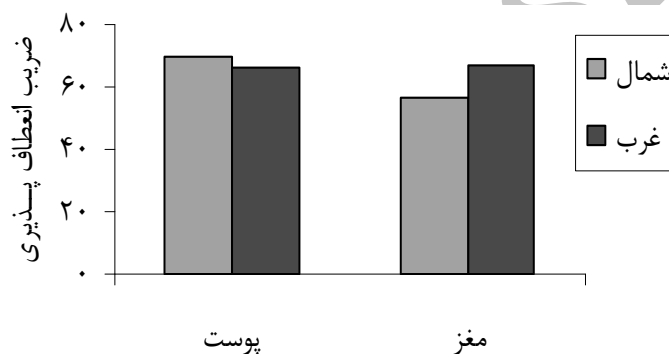
با توجه به مقادیر به دست آمده از جدول ۲ می‌توان ضرایبی را به دست آورد که ریشه در تأثیرپذیری الیاف خمیر کاغذ از عملیات‌های متفاوت در فرایند کاغذسازی (مثل پالایش) و شکل‌گیری مناسب بافت کاغذ و میزان سطح پیوند در محصول نهایی دارند و در پیش‌بینی خواص کاغذ ساخته شده از آن بسیار مؤثر می‌باشند. میانگین ضرایب کاغذسازی پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال غرب در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر میانگین ضرایب کاغذسازی پوست و مغز نمونه‌های مختلف.

ویژگی	محل تهیه نمونه	پوست	مغز
میانگین در هم‌رفتگی (L/D)	شمال	۷۰/۹۳۷	۹۶/۰۸۹
	شمال غرب	۷۲/۶۶۵	۷۲/۳۶۸
میانگین انعطاف‌پذیری (C/D)	شمال	۷۰	۵۶/۸۵
	شمال غرب	۶۶/۳۸۴	۶۶/۸۶۱
میانگین مقاومت به پارگی (رانکل) (۲P/C)	شمال	۴۳/۶۷۷	۷۶/۵۴۱
	شمال غرب	۵۱/۱۹۳	۴۹/۵۹۲



شکل ۶- مقایسه ضریب درهم رفتگی پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال غرب.

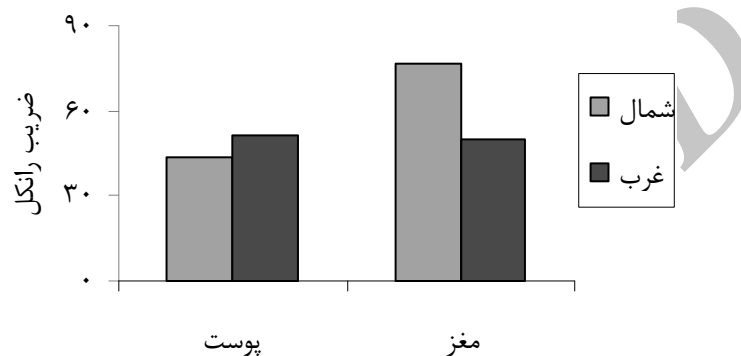


شکل ۷- مقایسه ضریب انعطاف پذیری پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال غرب.

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که ضریب درهم رفتگی الیاف که بر روی کیفیت نمدی شدن و در نتیجه مقاومت کاغذ اثر دارد، در مغز نمونه‌های شمال و شمال غرب بیش تر از الیاف پوست می‌باشد. اختلاف بین ضریب درهم رفتگی الیاف پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال غرب از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی دار نمی‌باشد. ضریب درهم رفتگی الیاف پوست و مغز گیاه جارو در مجموع نسبت به الیاف گونه لرگ که در بهترین حالت ۲۴ اعلام شده است (بخشی و کیایی، ۲۰۰۸) و همچنین از پوست و مغز ساقه پنبه ساحل (شوب و سرائیان، ۲۰۰۸) بیش تر و در مقابل ساقه گیاه کنف، ضریب لاغری کم تری دارد (شاخص و همکاران، ۲۰۰۸).

میانگین انعطاف پذیری الیاف پوست بیش تر از مغز می‌باشد (شکل ۷) که این اختلاف از نظر آماری در سطح معنی دار بوده است. این مقادیر تقریباً مشابه با مقدار اعلام شده برای ساقه پنبه (شوب و

سرائیان، ۲۰۰۸) و بیش تر از ضریب انعطاف پذیری ساقه کنف (شاخص و همکاران، ۲۰۰۸) و گونه چوبی لرگ (بخشی و کیایی، ۲۰۰۸) می باشد. بالا بودن ضریب انعطاف پذیری می تواند بیانگر این مسأله باشد که کاغذ به دست آمده از این نوع الیاف در برابر ترکیدن و گسیخته شدن انعطاف پذیری بیش تری از خود نشان خواهد داد.

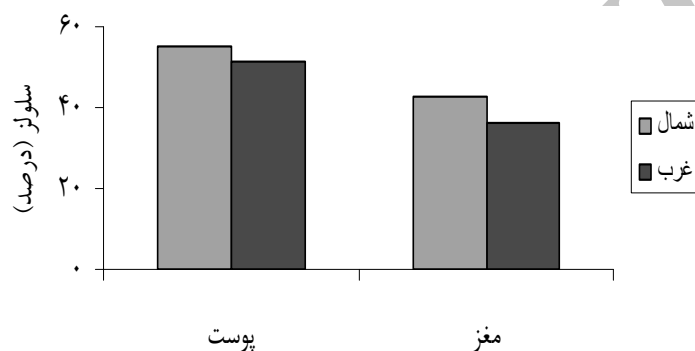


شکل ۸- مقایسه ضریب رانکل پوست و مغز نمونه های شمال و شمال غرب.

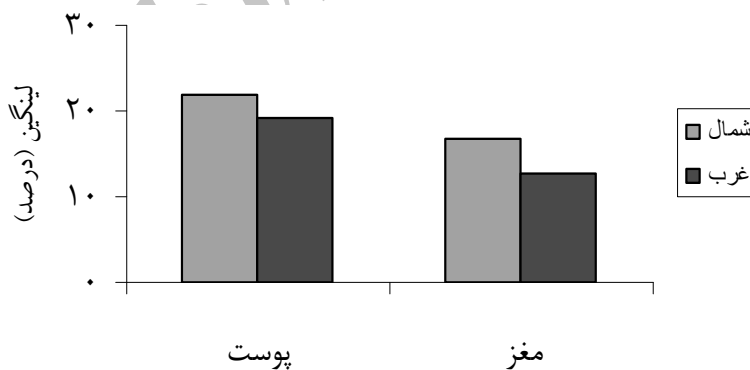
همان طوری که در شکل ۸ مشاهده می شود ضریب رانکل الیاف مغز بیش تر از پوست می باشد. ضریب رانکل گیاه جارو در محدوده مقدار اعلام شده برای ساقه گیاه پنبه (شوب و سرائیان، ۲۰۰۸) و کم تر از ساقه کنف (شاخص و همکاران، ۲۰۰۸) و لرگ (بخشی و کیایی، ۲۰۰۸) می باشد. ترکیب شیمیایی و درصد هر یک از اجزاء شیمیایی مواد خام اولیه مورد استفاده در صنایع کاغذسازی تأثیر به سزایی در ویژگی های خمیر کاغذ به دست آمده از آن دارد. به عنوان مثال، هرچه درصد لیگنین و مواد استخراجی یک ماده لیگنوسلولزی کم تر و درصد سلولز و در مراحل بعد درصد همی سلولز بیش تر باشد، کاغذ به دست آمده از ماده دارای ویژگی های مقاومتی بالاتری بوده و در فرایند تولید نیاز به انرژی کم تری برای تولید خمیر (جداسازی لیگنین و مواد استخراجی) دارد. بنابراین تعیین ترکیب و درصد مواد شیمیایی گامی مؤثر در ارزیابی این ماده لیگنوسلولزی به عنوان پتانسیلی در صنایع کاغذسازی محسوب می گردد. مقدار ترکیبات شیمیایی پوست و مغز نمونه های شمال غرب و شمال طبق روشی که در بخش مواد و روش ها توضیح داده شد، تعیین و میانگین اطلاعات به دست آمده در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- ترکیبات شیمیایی پوست و مغز نمونه‌های شمال غرب و شمال.

کد نمونه	سلولز	لیگنین	مواد استخراجی	خاکستر
پوست شمال غرب	۵۱/۴۵	۱۹/۱۰	۳/۱۰	۳/۵۳
مغز شمال غرب	۳۶/۴۰	۱۲/۸۰	۴/۹۰	۱۰/۵۰
پوست شمال	۵۵/۰۰	۲۱/۸۰	۱/۹۰	۴/۰۳
مغز شمال	۴۲/۵۰	۱۶/۷۱	۳/۷۵	۱۵/۴۳



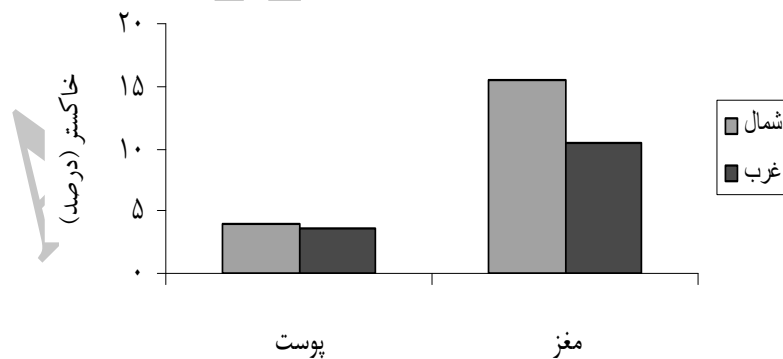
شکل ۹- مقایسه مقدار سلولز پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال غرب.



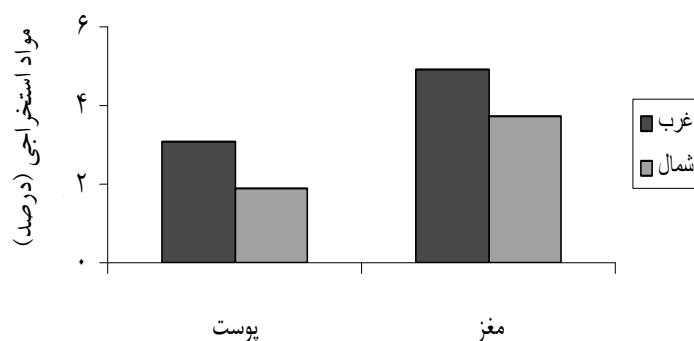
شکل ۱۰- مقایسه مقدار لیگنین پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال غرب.

براساس نتایج ارائه شده در جدول ۴ و با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود، مقدار سلولز پوست گیاه سورگوم جارویی با مقدار میانگین حدود ۵۳ درصد، بیش‌تر از مقدار سلولز چوب پهن‌برگان، سوزنی‌برگان، کاه گندم، ساقه پنبه و کلزا می‌باشد و در مقابل مقدار سلولز مغز با میانگین در حدود ۳۹ درصد، در محدوده سلولز سوزنی‌برگان و کاه برنج می‌باشد (یائو و همکاران، ۲۰۰۸؛ شوب‌چاری و سرانیان، ۲۰۰۸؛ ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۸). مقدار سلولز پوست و حتی مغز در مقایسه با مقادیر سلولز گونه‌های چوبی سوزنی‌برگ و پهن‌برگ، این گیاه را به‌عنوان پتانسیلی در تولید خمیرکاغذ مطرح می‌کند.

نتایج ارائه شده در جدول ۴ و شکل ۱۰ نشان می‌دهد که مقدار لیگنین پوست و مغز ساقه گیاه جارو به‌ترتیب با مقادیر میانگین ۲۰ و ۱۵ درصد کم‌تر از لیگنین ارائه شده برای سوزنی‌برگان، پهن‌برگان، ساقه پنبه و کلزا می‌باشد (گوش و باروآ، ۱۹۹۷؛ ورویس و همکاران، ۲۰۰۴؛ ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۸). مقادیر لیگنین اعلام شده برای سورگوم شیرین ۱۶/۰۶ درصد (بلاياچی و دیلماش، ۱۹۹۵) و برای *Cynara cardunculus* L. ۱۷ درصد (گومینهو و همکاران، ۲۰۰۱)، کم‌تر از لیگنین پوست ساقه جارو و بیش‌تر از لیگنین مغز آن می‌باشد. مقادیر کم لیگنین این ماده در کنار مقادیر زیاد سلولز آن در قیاس با گونه‌های چوبی، اهمیت و ارزش این ماده را در صنعت خمیرکاغذ آشکار نموده و مطالعات بیش‌تر بر روی ویژگی‌های خمیر و کاغذسازی به‌دست آمده را، ضروری می‌سازد.



شکل ۱۱- مقایسه مقدار خاکستر پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال‌غرب.



شکل ۱۲- مقایسه مقدار مواد استخراجی پوست و مغز نمونه‌های شمال و شمال‌غرب.

براساس شکل ۱۱ مقدار خاکستر مغز در محدوده خاکستر کاه برنج می‌باشد و خاکستر پوست بسیار کم‌تر از آن و کمی بیش‌تر از خاکستر گیاهان سبزال، کف و پنبه است (یائو و همکاران، ۲۰۰۸). گیاه کلزا با خاکستر حدود ۶/۴۳ درصد، کم‌تر از مغز و بیش‌تر از پوست گیاه جارو خاکستر دارد (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۸). مقدار خاکستر اعلام شده برای *Cynara cardunculus* L. به‌میزان ۷/۷ درصد، بیش‌تر از خاکستر پوست ساقه جارو و کم‌تر از خاکستر مغز آن می‌باشد (گومینهو و همکاران، ۲۰۰۱). همان‌طور که از شکل ۱۲ مشخص می‌شود، مواد استخراجی در مغز بیش‌تر از پوست و در نمونه شمال‌غرب بیش‌تر از نمونه شمال می‌باشد. ضمن آن‌که، این اختلاف‌ها از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. گروه‌بندی دانکن همه ترکیبات بالا را در ۴ گروه مجزا گروه‌بندی کرده است. این مقادیر کم‌تر از مقدار اعلام شده برای پوست و مغز ساقه پنبه، کلزا و بوته *Cynara cardunculus* L. می‌باشد (گومینهو و همکاران، ۲۰۰۱؛ ابراهیمی و همکاران، ۲۰۰۸؛ شوب‌چاری و سرائیان، ۲۰۰۸). همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار سلولز و لیگنین نمونه‌های شمال بیش‌تر از شمال‌غرب می‌باشد. مقدار سلولز و لیگنین در بخش پوست و مقدار خاکستر و مواد استخراجی در قسمت مغز سهم بیش‌تری را به خود اختصاص داده‌اند که این اختلاف‌ها از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشند. پس از جداسازی پوست و مغز قسمت‌های مختلف نمونه‌ها و خشک کردن آن‌ها در آن (۱۰۳) درجه سانتی‌گراد) نسبت پوست به ساقه، پوست به مغز و مغز به ساقه به‌طور جداگانه برای هر بخش به‌دست آمد. مقادیر به‌دست آمده در جدول ۵ نشان داده شده است.



جدول ۵- نسبت پوست و مغز به ساقه.

ساقه جارو	پوست به ساقه	مغز به ساقه	مغز به پوست
پایین	۷۶/۵۳	۲۳/۴۶	۳۰/۷۷
شمال	۷۶/۱۱	۲۳/۸۸	۳۱/۵۱
بالا	۷۴/۳۹	۲۵/۶۰	۳۴/۶۸
پایین	۷۱/۸۶	۲۸/۱۳	۳۹/۳۹
غرب	۷۳/۳	۲۶/۶۹	۳۶/۶۴
بالا	۷۴/۲۷	۲۵/۷۲	۳۵/۰۳

با توجه به داده‌های جدول بالا مشاهده می‌شود که پوست حدود ۷۵ درصد از وزن خشک کل ساقه را به خود اختصاص داده است و سهم مغز تنها حدود ۲۵ درصد می‌باشد، که دلیل این تفاوت زیاد به بالاتر بودن دانسیته پوست به مغز نسبت داده می‌شود. نسبت پوست به ساقه در نمونه‌های شمال بیش‌تر از نمونه‌های شمال‌غرب می‌باشد. ضمن آن‌که نسبت پوست به ساقه گیاه جارو در مقایسه با مقدار اعلام شده برای گیاه کنف (۲۸/۸۳ درصد) بسیار بیش‌تر می‌باشد و در مقابل نسبت مغز به ساقه گیاه جارو تقریباً نصف مقدار اعلام شده برای کنف (۵۲/۱۱ درصد) می‌باشد (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۸).

### نتیجه‌گیری

- ۱- براساس نتایج به‌دست آمده، از نظر طول الیاف، این گیاه در دسته الیاف با طول متوسط قرار می‌گیرد، که در جایگاهی مناسب‌تر از برخی گونه‌های غیرچوبی مثل ساقه پنبه و کلزا، برای تولید کاغذهای متداول در این صنعت مناسب محسوب می‌شود.
- ۲- براساس نتایج به‌دست آمده از تعیین ضرایب کاغذسازی، الیاف این گونه غیرچوبی در شرایطی تقریباً برابر با ساقه گیاهان غیرچوبی هم‌چون پنبه، کلزا و حتی کنف، پتاسیلی مناسب برای تولید کاغذهایی با مشخصه‌های مقاومتی قابل قبول تلقی می‌شود.
- ۳- نتایج آنالیز شیمیایی پوست و مغز ساقه این گیاه بیانگر محتوای سلولز بیش‌تر و لیگنین کم‌تر آن در مقایسه با گونه‌های چوبی و غیرچوبی متداول می‌باشد که از پارامترهای مثبت این ماده اولیه در تولید خمیر کاغذ محسوب می‌شود.

۴- همچنین، نتایج نشان داد، میزان مواد استخراجی ساقه این گیاه کم‌تر از گونه‌های غیرچوبی هم‌چون ساقه پنبه و کلزا و خاکستر پوست و مغز آن به‌ترتیب کم‌تر و بیش‌تر از گونه‌های متداول غیرچوبی مانند سیزال، جوت و کتان می‌باشد.

۵- در یک نگاه کلی، پوست گیاه جارو با مقادیر طول الیاف و سلولز بیش‌تر، ضرایب کاغذسازی مناسب‌تر و محتوای مواد استخراجی و خاکستر کم‌تر نسبت به پوست آن از پتانسیل‌های بالاتری در تولید کاغذ برخوردار است، اما به‌دلیل نسبت بسیار کم‌تر مغز به پوست در قیاس با گونه‌های غیرچوبی معمول مثل کنف، حتی ساقه کامل آن نیز قابل بهره‌برداری در این صنعت می‌باشد.

۶- گیاه جارو در شمال کشور نسبت به جاروی شمال‌غرب کشور، به‌دلیل دارا بودن طول الیاف بلندتر، سلولز بیش‌تر و مواد استخراجی کم‌تر، به‌عنوان ظرفیتی نو و با ارزش در تولید خمیر کاغذ به صنعت‌گران پیشنهاد می‌شود.

#### منابع

1. Agriculture statistical letter. agricultural year. 2006-2007. Agriculture ministry, statistics and information technology office. 1: crop yields.
2. Ahmadi, M., Zabihzadeh, M. and Dastoorian, F. 2008. The anatomical and chemical properties of *Abutilon theophrasti*. The 1<sup>st</sup> Iranian conference on supplying raw materials and development of wood and paper industries. (In Persian)
3. Bakhshi, R. and Kiaei, M. 2008. A study on anatomical properties and papermaking ratios of walnut (*Pterocarya Fraxinifolia*) in nowshahr region. The 1<sup>st</sup> Iranian conference on supplying raw materias and development of wood and paper industries. (In Persian)
4. Belayachi, L. and Delmas, M. 1995. Sweet Sorghum: A Quallity Raw material for the manufacturing of chemical paper pulp. Pergamon J. Biomass and Biometry. 8: 6. 411-417.
5. Dehghani, M.R., Shakhesh, J. and Namakian, R. 2008. The effects of harvesting times on fiber morphological properties and kenaf yild. The 1<sup>st</sup> Iranian conference on supplying raw materias and development of wood and paper industries. (In Persian)
6. Ebrahimi, Z., Esmaeili, A., Zabihzadeh, M., Dastooian, F. and Ahmad, M. 2008. Study on anatomical and chemical properties of rapeseed stalk. The 1<sup>st</sup> Iranian conference on supplying raw materias and development of wood and paper industries. (In Persian)

7. Ghosg, S.R. and Baruah. 1997. *Sterculia villosa roxb*-a potential source of wood-fiber pulp and paper making. Elsevier J. Bioresour. Technol. 62: 43-46.
8. Gominho, J., Fernandez, J. and Pereira, H. 2001. *Cynara cardunculus* L. a new fibre crop for pulp and paper production. Elsevier J. Ind. Corps and Products, 13: 1-10.
9. Shakhes, J., Dehgani, M.R. and Zeinly, F. 2008. Investigation the effect of cultivar on mormorphological properties kenaf bast fiber. The 1<sup>st</sup> Iranian conference on supplying raw materias and development of wood and paper industries. (In Persian)
10. Shoob Chari, H. and Saraian, A. 2008. Study on the fiber biometry and chemical properties of bast and cor of cotton stalk *sahel* variety. The 1<sup>st</sup> Iranian conference on supplying raw materias and development of wood and paper industries. (In Persian)
11. Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulaksi, N., Santas, P. and Santas, R. 2004. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. Elsevier J. Ind. Corps and Products, 19: 245-254.
12. Yao, F., Qinglin, W., Yong, L. and Yanjun, X. 2008. Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading. Sciencedirect. Industrial corps and products, 28: 1. 63-72.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 19 (4), 2013  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## ***Sorghum bicolor*, A New And Valuable Capability of Nonwood lignocellulosic Materials for Pulp and Paper Industry**

**\*E. Afra<sup>1</sup> and H. Mohammadi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of  
Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>M.Sc., Faculty of Wood and Paper  
Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 05/16/2010; Accepted: 03/09/2011

### **Abstract**

In this study, physical, chemical, and papermaking properties of sweep plant stalk (*sorghum bicolor*) prepared from northern and northwestern areas of Iran was studied to evaluate its papermaking potential. The prepared stalks were cut into three parts in length and then the bark and core of each sample were separated. Morphological characteristics, papermaking factors, and chemical composition including amount of lignin, cellulose, extractives and ash of each sample were determined according to TAPPI standards. The results of papermaking factors of this plant's stalk fibers (that are related to fiber length and wall thickness) indicated that it had potential of producing paper with higher strength properties compared to common raw materials and even local hardwoods. So, interesting results of chemical analysis of this plant's stalk samples showed higher value of cellulose and lower amount of lignin in comparison with woody and nonwoody plants that is considered as one of the most important affirmative factors (easy and cheap lignin removal process) in papermaking raw materials. Results of all physical and chemical assessments showed better characteristics of the bark comparing to the core. Of course, considering the low ratio of core to bark (contrary to other nonwoody plants) it is concluded that pulp produced from whole stalk have no significant differences with pulp prepared from bark. Sweep plant of northern Iran has longer fiber with more cellulose content and less extractives in comparison with northwestern type. Thus, it is suggested to mill owners to be used as a suitable raw material in this industry.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*, Morphological properties, Papermaking factors, Chemical composition

---

\* Corresponding Author; Email: [elyasafra@yahoo.com](mailto:elyasafra@yahoo.com)