

## ارزیابی پتانسیل گونه کهور پاکستانی (سمر) در خمیرکاغذسازی کرافت

### چکیده

در این تحقیق ویژگی‌های فیزیکی، بیومتری، شیمیایی چوب کهور پاکستانی (سمر) و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خمیرهای کاغذ کرافت آن مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار گرفت. وزن مخصوص خشک و بحرانی گونه سمر به ترتیب برابر ۰/۸۰۶ و ۰/۶۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب برآورد گردید. طول الیاف این گونه ۸۹۵ میکرون و میزان سلولز ۴۸/۸۰، لیگنین ۳۳/۶۶، مواد استخراجی ۳/۸۸ و خاکستر آن ۱/۱۰ درصد اندازه‌گیری شد. شرایط تهیه خمیرکاغذ کرافت گونه سمر (کهور پاکستانی) عبارت بودند از: قلیائیت مؤثر ۱۴، ۱۶، ۱۸ درصد، زمان پخت ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه، درجه حرارت پخت ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت L/W برابر ۵ به ۱. بعد از اندازه‌گیری مقادیر بازده و عددکاپا، خمیرکاغذهای حاصل از ۲ تیمار انتخاب و درجه روانی آن‌ها به وسیله عمل پالایش به حدود ۴۰۰ (CSF) رسانده شد. آنالیز نتایج بازده و عددکاپای خمیرکاغذها با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، مقایسه میانگین آن‌ها از آزمون دانکن و آنالیز مقاومت‌های کاغذهای دست‌ساز از آزمون T-Test انجام گرفت. نتایج نشان داد که کاغذهای دست‌ساز حاصل از خمیرکاغذ کرافت تهیه‌شده تحت شرایط قلیائیت مؤثر ۱۸ درصد، زمان پخت ۱۲۰ دقیقه و دمای پخت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، دارای ویژگی‌های مکانیکی بهتری بودند. نتایج بررسی مشخص نمود که گونه سمر (کهور پاکستانی) منطقه جنوب کشور در مقایسه با سایر گونه‌های پهن‌برگ، از ویژگی‌های مناسبی برای تهیه خمیرکاغذ کرافت برخوردار است.

**واژگان کلیدی:** کهور پاکستانی، خمیرکاغذ کرافت، ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های شیمیایی، ویژگی‌های مکانیکی.

عباس فخریان روغنی<sup>\*۱</sup>

رسول یزدانی<sup>۲</sup>

علی قاسمیان<sup>۳</sup>

حسین رسالتی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> رئیس آزمایشگاه شیمی چوب و کاغذسازی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و فناوری خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

<sup>۳</sup> دانشیار علوم و فناوری خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

<sup>۴</sup> استاد گروه چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

مسئول مکاتبات:

[fakhryan@rifr-ac.ir](mailto:fakhryan@rifr-ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۱۰

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۵/۰۳

از اراضی خوزستان طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۶۵ [۳] و ۳۰ هزار هکتار از اراضی شهرستان ریگان در استان کرمان [۴] با گونه سمر جنگل‌کاری شده‌اند. با توسعه این گونه در مناطق وسیع و کویری جنوب کشور می‌توان به یک منبع عظیم ماده لیگنوسولوزی مناسب دسترسی پیدا کرد. در بررسی‌های به‌عمل‌آمده، Guha و همکاران (۱۹۷۰) آنالیز

### مقدمه

گونه کهور یکی از مهم‌ترین عناصر عمده تشکیل‌دهنده جنگل‌های نیمه گرمسیری در کرانه خلیج فارس و دریای عمان است و اراضی به نسبت وسیعی به زیر کشت آن رفته‌است [۱]. تا سال ۱۳۷۷ نزدیک به ۳۰ هزار هکتار اراضی استان هرمزگان [۲]، ۱۴۱/۱۱۴ هکتار

کاغذها با افزایش دوره ذخیره‌سازی خرده‌چوب‌ها کاهش یافت. نتایج نشان می‌دهد که مناسب‌ترین زمان نگهداری خرده‌چوب‌های این ۱۵ گونه برای کنترل قیر موجود در خمیر کاغذ ۲ ماه است [۸]. همچنین، Choudhury و همکاران (۲۰۰۸) معتقدند که به دلیل افزایش تقاضای مردم کشور هند، تولید خمیر کاغذ در این کشور در حال توسعه است و این در حالی است که به شدت با کاهش مواد اولیه لیگنوسولوزی مواجه هستند. به دلیل کنترل سخت و دقیق قانونی در رابطه با آلودگی تهیه خمیر کاغذ از پسماندهای کشاورزی، صنایع در جهت جلوگیری از تعطیلی واحدهای خود، استفاده از بازیافت الیاف را مورد توجه قرار داده‌اند. در همین راستا به منظور استفاده از گونه‌های مناسب و جایگزین، تحقیقاتی انجام گرفته است. در یکی از این تحقیقات ۵ گونه مناسب محلی قابل دسترس به نام‌های:

*Kadam (anthocephalus chinensis),*  
*Sema Tuma (Prosopis juliflora),*  
*ad (Borassus flabelliformis),*  
*Arjuna (Terminalia arjuna),*  
*Albizia (Albizia juliflora)*

مورد ارزیابی و سنجش قرار گرفتند. آنالیز نتایج نشان داد که از بین این ۵ گونه پهن‌برگ، گونه سمر (*Prosopis juliflora*) با توجه به وزن مخصوص قابل قبول ماده چوبی، بازده خمیر کاغذ، مصرف قلیا و قابلیت خوب مخلوط کردن با خمیر کاغذ گونه‌های دیگر، مناسب‌تر بوده است. در این بررسی وزن مخصوص چوب، ویژگی‌های رنگ‌بری، درجه‌بندی الیاف و ویژگی‌های مقاومتی نیز مورد اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۹].

بر اساس مطالب فوق، به نظر می‌رسد با توجه به قابلیت توسعه گونه سمر در مناطق گسترده‌ای از کشور، لازم است امکان بهره‌برداری از این منبع لیگنوسولوزی و پتانسیل تولید خمیر کاغذ با ویژگی‌های مناسب از آن مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد.

لازم به ذکر است که به دلیل محدودیت تحقیقات کاربردی بر روی گونه سمر در ایران و دنیا، مقایسه نتایج به دست آمده بیشتر با گونه‌های پهن‌برگ نزدیک و از جمله اکالیپتوس انجام گرفته است.

ترکیبات شیمیایی و اندازه‌گیری ابعاد الیاف چوب درخت کهور را انجام دادند. بازده خمیر کاغذ رنگ‌بری شده کرافت این درخت در مقیاس آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی (پاپلوت) برای تولید کاغذهای چاپ و تحریر رضایت‌بخش بود. البته نایکنواختی و اعوجاج تنه درخت در حین تهیه خرده چوب مشکلاتی را ایجاد می‌کند [۵]. Toghraie و همکاران (۲۰۰۵) خصوصیات اساسی چوب کهور ایرانی (*Prosopis spicigera L*) مورد ارزیابی قرار دادند. جرم ویژه نسبی و خشک این چوب به ترتیب ۱/۰۸ و ۰/۸ و طول الیاف، قطر الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی الیاف آن به ترتیب ۹۰۰، ۱۶، ۴ و ۶ میکرون اندازه‌گیری شد [۶].

Carrillo-Parra (۲۰۰۷)، میانگین طول الیاف گونه *Prosopis laevigata* کشور مکزیک را ۹۷۵ میکرون (حداقل ۵۸۹ میکرون و حداکثر ۱۳۱۲ میکرون)، میزان هولوسولوز ۶۴/۵-۶۱/۷ درصد، مواد استخراجی ۱۶-۱۴/۱ درصد، لیگنین کلاسون ۳۱/۴-۲۹/۸ درصد و وزن مخصوص خشک آن ۰/۷۲-۰/۸۴ g/cm<sup>3</sup> اندازه‌گیری کرد. نامبرده اظهار می‌دارد که کاربرد چوب *Prosopis laevigata* به دلیل داشتن مواد استخراجی زیاد و وزن مخصوص بالا در صنایع کاغذسازی محدود است. با این وجود از آن می‌توان به عنوان یک منبع لیگنوسولوزی برای موارد استفاده از الیاف کوتاه و متوسط و همچنین با ضخامت زیاد استفاده کرد [۷].

Ogunwusi (۲۰۱۲)، تأثیر ذخیره‌سازی خرده‌چوب‌های ۱۵ گونه پهن‌برگ از جمله *Prosopis Africana* بر روی ویژگی‌های تهنشین‌سازی قیر (Pitch)، خمیر کاغذ و کاغذ مورد بررسی قرار داد. در این بررسی میزان مواد استخراجی گونه‌های مورد استفاده از ۱/۸۲٪ در گونه *Anogeissus leiocarpus* تا ۱۴/۳٪ در گونه *Pakia felicoida* اندازه‌گیری شد. خرده‌چوب‌های این ۱۵ گونه با نسبت‌های مناسب مخلوط و به مدت ۶ ماه نگهداری شدند. نتایج نشان داد که میزان مواد استخراجی و قیر با افزایش زمان نگهداری کاهش یافت. بازده کل و بازده خمیر کاغذ قابل قبول (Screened pulp) با افزایش زمان نگهداری کاهش یافت. شاخص‌های بالک، طول پاره‌شدن، مقاومت در برابر ترک‌شدن و مقاومت در برابر پاره‌شدن

## مواد و روش‌ها

### نمونه‌برداری

نمونه‌های موردنظر برای انجام آزمایش‌ها از دو درخت کهور پاکستانی (با سن ۱۵ سال) از ایستگاه تحقیقات کوشک مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان خوزستان تهیه گردید.

### تهیه نمونه برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی،

#### آناتومیکی و شیمیایی

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، مکعب‌هایی به ابعاد ۲×۲×۲ سانتی‌متر از قسمت‌های مختلف تنه درخت تهیه شد و از بین آن‌ها ۲۰ مکعب (نمونه) به‌طور تصادفی انتخاب شد. پس از اشباع کردن این نمونه‌ها در آب و تعیین حجم اشباع، حجم خشک و وزن خشک، جرم ویژه خشک و بحرانی نمونه‌ها تعیین شد.

برای جداسازی و اندازه‌گیری خواص بیومتری الیاف از روش فرانکلین (۱۹۵۴) استفاده شد [۷]. به‌این منظور از ارتفاعات ۲۵٪، ۷۵٪ و برابر سینه درخت دیسک‌هایی تهیه شد. پس از تهیه دیسک‌های موردنظر حدود دوایر سالبانه آن مشخص شد و از سه قسمت نزدیک مغز، ما بین مغز و پوست و نزدیک پوست تراشه‌هایی به پهنای ۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۲ سانتی‌متر و طولی برابر با پهنای هر حلقه جداسازی شد. برای اندازه‌گیری ابعاد الیاف از میکروسکپ نورافکن دار استفاده شد.

برای تهیه پودر چوب جهت آنالیز ترکیبات شیمیایی از دستورالعمل شماره ۸۵-om-۲۵۷ آئین‌نامه TAPPI، اندازه‌گیری مواد استخراجی مطابق با دستورالعمل شماره ۹۹-om-۲۸۰ آئین‌نامه TAPPI، اندازه‌گیری مقدار سلولز مطابق با دستورالعمل شماره ۸۸-om-۲۶۴ آئین‌نامه TAPPI و اندازه‌گیری مقدار خاکستر بر اساس دستورالعمل شماره ۰۲-om-۲۱۱ آئین‌نامه TAPPI استفاده شد.

### تهیه خمیر کاغذ

برای تهیه خرده‌چوب، ابتدا گرده‌بینه‌ها توسط دستگاه خردکن غلتکی از نوع Pallman X 430 – 120PHT آزمایشگاهی به خرده‌چوب تبدیل شدند. برای انجام پخت و تهیه خمیر کاغذ، از ۵۰ گرم خرده‌چوب (بر اساس وزن خشک) استفاده شد. پخت و تهیه خمیر کاغذ به‌وسیله دایجستر چهار محفظه‌ای چرخشی انجام گرفت. شرایط هر

پخت بدین شرح بود: سولفیدیت ۲۵٪، نسبت مایع پخت به وزن خشک چوب ۵ به ۱، درجه حرارت پخت ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه و قلیائیت مؤثر ۱۴، ۱۶ و ۱۸ درصد. پس از پایان زمان پخت، جداسازی الیاف توسط دفیبراتور آزمایشگاهی شرکت L&W (Lorentzen & Wettre) کشور فنلاند، انجام گرفت و سپس نمونه‌ها شستشو داده شدند. برای شستشو و جداسازی الیاف پخته نشده (واژه) از الک‌های با مش ۱۸ و ۲۰۰ استفاده شد. هر پخت با ۲ تکرار انجام گرفت و پس از هر بار پخت، میزان بازده و عددکاپای خمیر کاغذها اندازه‌گیری شد. از بین خمیر کاغذهای پخته‌شده، دو خمیر کاغذ A1 و C3 (جدول ۶) انتخاب و پس از پالایش و رساندن درجه روانی آن‌ها به حدود ۴۰۰ میلی‌لیتر (CSF)، کاغذدست‌ساز ۶۰ گرمی تهیه شد. برای پالایش خمیر کاغذها از پالایشگر مدل PFI کشور نروژ، ساخت کاغذ دست‌ساز از دستگاه Handsheet maker مدل KCL کشور فنلاند، پرس کاغذ از پرس شرکت L&W (Lorentzen & Wettre) کشور سوئد و خشک کردن کاغذهای دست‌ساز از خشک‌کن شرکت L&W (Lorentzen & Wettre) کشور فنلاند استفاده شد. پالایش خمیر کاغذها و اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز مطابق با دستورالعمل‌های زیر انجام گرفت:

پالایش خمیر کاغذ مطابق با آیین‌نامه شماره ۰۰-۲۴۸sp T استاندارد TAPPI، ضخامت کاغذ مطابق با آیین‌نامه شماره ۰۵-۴۱۱om T استاندارد TAPPI، ساخت کاغذ دست‌ساز مطابق با آیین‌نامه شماره ۰۲-۲۲۰۵sp T استاندارد TAPPI، مقاومت کششی مطابق با آیین‌نامه شماره ۰۱-۴۹۴om T استاندارد TAPPI، مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ مطابق با آیین‌نامه شماره ۰۴-۴۱۴om T استاندارد TAPPI، مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ مطابق با آیین‌نامه شماره ۰۲-۴۰۳om T استاندارد TAPPI و طول پاره شدن کاغذ مطابق با آیین‌نامه شماره ۸۸-۴۹۸om T استاندارد TAPPI.

به‌منظور آنالیز نتایج بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، مقایسه میانگین آن‌ها از آزمون دانکن و آنالیز مقاومت‌های کاغذهای دست‌ساز از آزمون T-Test استفاده شد. کلیه مراحل انجام آزمایش‌ها این تحقیق در آزمایشگاه

[۷] و جرم ویژه نسبی کهور ایرانی ۰/۸ به دست آمد [۶]. وزن مخصوص بحرانی گونه سمر با نتایج تحقیق بر روی گونه پهن برگ اکالیپتوس کاملدولنسیس رویشگاه فارس (جنوب) مطابقت دارد [۱۰] اما نسبت به اکالیپتوس منطقه زاغمرز (شمال) [۱۱] و نتایج بررسی ویژگی‌های اکالیپتوس کاملدولنسیس از منطقه بهشهر [۱۲]، بیشتر است.

### ابعاد الیاف

به منظور تعیین ابعاد الیاف و ضرایب کاغذسازی، ابعاد ۱۰۰ فیبر در حلقه‌های سالانه نزدیک مغز، بین مغز و پوست و نزدیک پوست هر دیسک اندازه‌گیری شد که نتایج آن‌ها در جداول ۱ و ۲ خلاصه شده است.

شیمی چوب و خمیر کاغذ مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و آزمون‌های ویژگی کاغذهای دست‌ساز در کارخانه کاغذسازی چوب و کاغذ مازندران انجام شد.

### نتایج و بحث وزن مخصوص

وزن مخصوص نشان‌دهنده مقدار ماده در واحد حجم است. وزن مخصوص بیشتر، بیان‌گر ماده چوبی بیشتر در واحد حجم است. وزن مخصوص خشک و بحرانی چوب کهور پاکستانی به ترتیب ۰/۸۰۶ و ۰/۶۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری شده است. وزن مخصوص خشک *Prosopis laevigata* کشور مکزیک ۰/۸۴ - ۰/۷۲ g/cm<sup>3</sup>

جدول ۱- میانگین ابعاد الیاف گونه کهور پاکستانی

مشخصات الیاف	ابعاد (میکرون)
طول فیبر (L)	۸۹۵
قطر فیبر (d)	۵۱/۹۶
ضخامت دیواره سلول (p)	۱۰/۲۰
قطر حفره سلولی (c)	۴۱/۷۶

جدول ۲- مقادیر ابعاد الیاف و ضرایب کاغذسازی کهور پاکستانی در حلقه‌های سالانه نسبت به ارتفاع

محل نمونه برداری الیاف	طول الیاف (میکرون)		قطر الیاف (میکرون)		ضخامت دیواره سلولی الیاف (میکرون)	
	مقدار	میانگین	مقدار	میانگین	مقدار	میانگین
نزدیک مغز	۸۵۸		۴۶/۰۰		۷/۷۶	
	۸۸۰		۵۲/۲۹		۱۱/۰۲	
	۹۳۷		۵۵/۷۴		۱۰/۱۱	
برابرسینه	۸۶۴		۴۶/۴۰		۸/۹۷	
	۸۹۲	۸۹۵	۵۳/۰۳	۵۱/۹۶	۱۱/۴۴	۱۰/۲۰
	۸۹۲		۵۶/۲۹		۱۰/۲۳	
نزدیک مغز	۹۱۱		۴۷/۲۶		۸/۹۷	
	۹۲۰		۵۳/۴۲		۱۱/۶۸	
	۹۴۵		۵۷/۲۱		۱۰/۵۰	
ضریب درهم‌رفتگی (L <sup>۲</sup> /d)	۱۷/۳۱					
ضریب انعطاف‌پذیری (نرمش) (c/d×100) <sup>۲</sup>	۸۰/۳۷۷					
ضریب رانکل (2 <sup>۲</sup> p/c×100)	۴۸/۸۲۷					

<sup>۱</sup> طول فیبر

<sup>۲</sup> قطر فیبر

<sup>۳</sup> قطر حفره سلولی

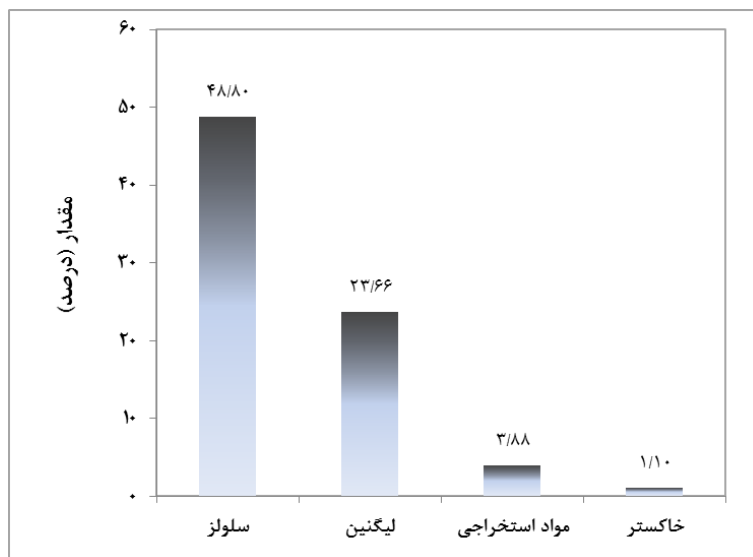
<sup>۴</sup> ضخامت دیواره سلول

رویش سالانه می‌باشند. مطابق جدول ۲، ضریب درهم‌رفتگی، ضریب انعطاف‌پذیری و ضریب رانکل، به ترتیب ۱۷/۳۱، ۸۰/۳۷۷ و ۴۸/۸۲۷ اندازه‌گیری شد. ضریب درهم‌رفتگی این گونه به دلیل زیاد بودن قطر سلول در مقایسه با گونه‌های پهن‌برگ کمتر ولی ضریب انعطاف‌پذیری آن مقاومت بیشتر خمیر کاغذ در مقابل گسیختگی را به همراه خواهد داشت.

### ویژگی‌های شیمیایی چوب

کیفیت خمیر کاغذ تحت تأثیر خصوصیات شیمیایی ماده لیگنوسولولزی قرار دارد. مطابق شکل ۱ مقادیر سلولز، لیگنین، مواد استخراجی و خاکستر چوب سمر به ترتیب به طور متوسط ۴۸/۸۰٪، ۲۳/۲۷٪، ۳/۸۸٪ و ۱/۱ درصد اندازه‌گیری شد. میزان سلولز، لیگنین و مواد استخراجی گونه‌های سوزنی‌برگ به ترتیب بین ۴۵-۴۰، ۳۵-۳۰ و کمتر از ۱۰٪ و گونه‌های پهن‌برگ بین ۴۵-۴۰، ۲۵-۱۷ و کمتر از ۱۰٪ گزارش شدند [۱۵]. گونه سمر در مقایسه با گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ از لیگنین کمتر و مقدار مناسب سلولز برخوردار است.

با توجه به نتایج اندازه‌گیری طول الیاف گونه سمر ملاحظه شد که طول الیاف گونه سمر نسبت به نتایج تحقیقات بر روی خصوصیات اساسی چوب کهور ایرانی [۶] و *Prosopis laevigata* کشور مکزیک [۷] کمتر بوده ولی نسبت به نتایج تحقیقات انجام‌گرفته بر روی اکالیپتوس کاملدولنسیس منطقه شمال (زاغمرز) و فارس (جنوب) [۱۱] و اکالیپتوس کاملدولنسیس بهشهر [۱۲]، بیشتر است. پیشرفت در فناوری تولید کاغذ موجب غلبه بر برخی محدودیت‌های ایجادشده مربوط به طول الیاف شده است. به‌عنوان مثال برای تهیه کاغذهای خوب که در گذشته فقط از چوب‌های سوزنی‌برگ با الیاف بلند استفاده می‌شد امروزه از برخی گونه‌های اکالیپتوس نیز استفاده می‌شود که خود موجب استفاده بهتر از پهن‌برگان با الیاف کوتاه و نیز افزایش سهم استفاده از آن‌ها در کارخانه‌های تولیدکننده خمیر کاغذ شده است [۱۳]. میانگین قطر سلول و ضخامت دیواره الیاف گونه سمر (کهور پاکستانی) از مقادیر تمامی منابع اکالیپتوس به‌کاررفته در این تحقیق و کهور ایرانی [۱۴] بیشتر است. قطر و ضخامت الیاف، یک ویژگی ارثی است و بین گونه‌ها متفاوت است و علت تغییر آن در یک گونه، بیشتر تابع شرایط آب‌وهوا، خاک و پهنای



شکل ۱- درصد میانگین ترکیبات شیمیایی چوب کهور پاکستانی

مواد شیمیایی مورد اندازه‌گیری قرارگرفت که نتایج حاصل از آن‌ها در جدول ۳ خلاصه شده است. بیشترین بازده با میانگین ۴۸/۳۵٪ در شرایط پخت، زمان پخت، دمایی مؤثر ۱۴٪، زمان

### ویژگی‌های خمیر کاغذ کرافت

بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ حاصل از چوب درخت کهور پاکستانی با تغییر شرایط، زمان پخت، دمایی پخت و

پخت ۲ ساعت و درجه حرارت پخت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین بازده با ۳۹/۷۸٪ در شرایط پخت، قلیابیت مؤثر ۱۸٪، زمان پخت ۳ ساعت و درجه حرارت پخت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. عدد کاپای دو خمیر کاغذ اخیر به ترتیب ۳۳/۷۲ و ۲۵/۱۰ اندازه‌گیری شده است.

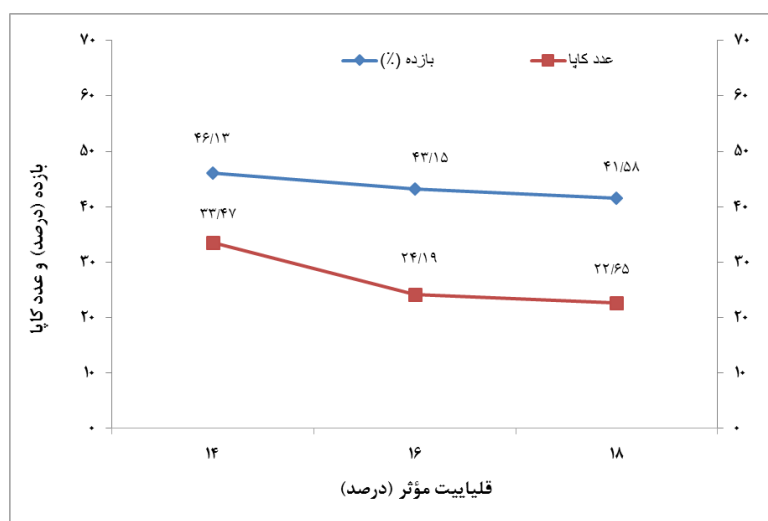
نتایج حاصل از اندازه‌گیری بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها

جدول ۳- نتایج حاصل از اندازه‌گیری بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها

کد خمیر کاغذ	قلیابیت مؤثر٪	زمان پخت ساعت	درجه حرارت پخت °C	بازده٪		عدد کاپا	
				A	B	A	B
A1		۲	۱۷۰	۴۸/۸۱	۴۷/۸۸	۳۵/۱۱	۳۲/۳۴
A2		۳	۱۷۰	۴۶/۷۷	۴۴/۷۷	۳۴/۸۳	۳۲/۴۶
A3	۱۴	۲	۱۸۰	۴۴/۸۶	۴۵/۶۲	۳۲/۷۴	۳۵/۱۹
A4		۳	۱۸۰	۴۴/۷۸	۴۵/۵۶	۳۱/۹۱	۳۲/۱۸
B1		۲	۱۷۰	۴۴/۸۲	۴۴/۶۷	۲۶/۸۲	۲۵/۹۴
B2		۳	۱۷۰	۴۳/۹۲	۴۲/۸۳	۲۳/۸۴	۲۴/۳۸
B3	۱۶	۲	۱۸۰	۴۲/۷۷	۴۳/۰۷	۲۴/۰۵	۲۴/۹۵
B4		۳	۱۸۰	۴۱/۵۹	۴۱/۵۱	۲۱/۷۸	۲۱/۷۴
C1		۲	۱۷۰	۴۳/۴۹	۴۲/۴۹	۲۲/۸۷	۲۳/۹۱
C2		۳	۱۷۰	۴۲/۹۴	۴۱/۹۵	۲۰/۳۸	۲۰/۶۰
C3	۱۸	۲	۱۸۰	۴۱/۲۹	۴۰/۹۱	۲۱/۲۲	۲۱/۹۸
C4		۳	۱۸۰	۳۹/۹۱	۳۹/۶۵	۲۴/۸۲	۲۵/۳۸

نتایج آنالیز بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها نشان می‌دهد که با افزایش میزان قلیابیت مؤثر از ۱۴٪ به ۱۸٪ بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها کاهش یافت که این اختلاف کاهش در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد، به طوری که بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ تهیه شده در قلیابیت مؤثر ۱۴٪ با ۴۶/۱۳٪ و ۳۳/۴۷٪ در گروه a و پس از آن بازده و عدد کاپای خمیر کاغذهای تهیه شده در قلیابیت مؤثر ۱۶ و ۱۸ درصد به ترتیب با مقادیر ۴۳/۱۵٪، ۲۴/۱۹ و ۴۱/۵۸٪، ۲۲/۶۵٪ به ترتیب در گروه‌های b و c قرار گرفتند. غلظت قلیابیت مؤثر مهم‌ترین عامل مؤثر در تولید خمیر کاغذ قلیابی است. در جریان واکنش پخت کرافت، کربوهیدرات‌ها به ویژه همی سلولزها و تا حدودی سلولز تحت تأثیر مواد شیمیایی قرار می‌گیرند و تاندازه‌ای حل می‌شوند. معمولاً در جریان یک پخت عادی تقریباً ۸۰٪ لیگنین، ۵۰٪ همی سلولزها و ۱۰٪ سلولز حل می‌شود [۱۶] که با توجه به نتایج این تحقیق، مشاهده می‌شود که با افزایش قلیابیت مؤثر از ۱۴٪ به ۱۸٪ بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها کاهش یافته است (شکل ۲).

با تغییر زمان پخت نیز اختلاف بازده و عدد کاپای خمیر کاغذهای تهیه شده در زمان پخت ۲ ساعت با بازده ۴۴/۲۲٪ و عدد کاپای ۲۷/۲۶ (هر دو) در گروه a و خمیر کاغذهای تهیه شده در زمان پخت ۳ ساعت با بازده ۴۳/۰۲٪ و عدد کاپای ۲۶/۲۸ در گروه b قرار گرفتند. با افزایش زمان پخت مدت تماس و نفوذ ماده شیمیایی به ساختار الیاف افزایش یافته و لیگنین بیشتری از الیاف خارج می‌شود، در نتیجه بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها به دلیل خروج لیگنین و تا حدودی کربوهیدرات‌ها کاهش یافته است. افزایش درجه حرارت پخت باعث افزایش سرعت واکنش می‌شود. با افزایش میزان درجه حرارت پخت بازده خمیر کاغذهای این درخت به دلیل خروج بیشتر لیگنین، کاهش یافت که اختلاف کاهش آن‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد. خمیر کاغذهای تهیه شده در درجه حرارت پخت ۱۷۰ و ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب با بازده ۴۴/۶۱٪ و ۴۲/۶۳٪ در گروه‌های a و b قرار گرفتند. اختلاف کاهش عدد کاپای دو خمیر کاغذ اخیر با ۲۷/۰۴ و ۲۶/۵۰ در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نشد.



شکل ۲- اثر مستقل افزایش قلیابیت مؤثر بر بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها

Ahmed, Aziz و همکاران (۱۹۹۸)، بازده خمیر کاغذ کرافت ضایعات چوبی (Wood waste)، بید لوزان (Aspen)، کاج لابلولی (Loblolly pine) و دوگلاس (Douglas fir) را در شرایط پخت سولفیدیتته ۲۵٪، قلیابیت فعال ۲۰٪، زمان پخت ۶۰ دقیقه و درجه حرارت پخت ۱۷۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۴۴/۵۰٪، ۵۱٪ و ۴۳/۳۰٪ و ۴۸/۵۰٪ و عدد کاپای آن‌ها را به ترتیب فوق ۲۴/۲۰، ۱۷، ۳۰/۷۰ و ۲۳/۲۰ گزارش کرده‌اند [۱۷] که شرایط پخت و نتایج آن نزدیک به شرایط و نتایج این تحقیق است.

در جدول ۴ گروه‌بندی بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها تحت تأثیر متقابل سه تیمار قلیابیت مؤثر، زمان پخت و درجه حرارت پخت نشان داده شده‌است. با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود که بیشترین بازده با ۴۸/۳۵٪ در شرایط پخت، قلیابیت مؤثر ۱۴٪، زمان پخت ۲ ساعت و درجه حرارت پخت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین بازده با ۳۹/۷۸٪ در شرایط پخت، قلیابیت مؤثر ۱۸٪، زمان پخت ۳ ساعت و درجه حرارت پخت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمدند. عدد کاپای دو خمیر کاغذ اخیر به ترتیب ۳۳/۷۲ و ۲۵/۱۰ اندازه‌گیری شده است.

جدول ۴- گروه‌بندی بازده و عدد کاپای خمیر کاغذهای چوب سمر

گروه‌بندی	عدد کاپا		بازده		درجه حرارت پخت (سانتی‌گراد)	زمان پخت (دقیقه)	قلیابیت مؤثر (درصد)
	مقدار	گروه‌بندی	مقدار٪	گروه‌بندی			
a	۳۳/۷۲	a	۴۸/۳۵	a	۱۷۰	۲	۱۴
a	۳۴/۱۵	b	۴۵/۷۷	b	۱۷۰	۳	۱۴
a	۳۳/۹۷	b	۴۵/۲۴	b	۱۸۰	۲	۱۴
a	۳۲/۰۴	b	۴۵/۱۷	b	۱۸۰	۳	۱۴
b	۲۶/۸۳	bc	۴۴/۷۵	bc	۱۷۰	۲	۱۶
c	۲۴/۱۱	cd	۴۳/۳۸	cd	۱۷۰	۳	۱۶
cd	۲۳/۳۹	de	۴۲/۹۹	de	۱۷۰	۲	۱۸
c	۲۴/۵۰	de	۴۲/۹۲	de	۱۸۰	۲	۱۶
e	۲۰/۴۹	def	۴۲/۴۵	def	۱۷۰	۳	۱۸
de	۲۱/۷۶	ef	۴۱/۵۵	ef	۱۸۰	۳	۱۶
de	۲۱/۶۰	fg	۴۱/۱۰	fg	۱۸۰	۲	۱۸
bc	۲۵/۱۰	g	۳۹/۷۸	g	۱۸۰	۳	۱۸

شرایط دو خمیر کاغذ A<sub>1</sub> و C<sub>3</sub> به شرح زیر است. خمیر A<sub>1</sub>: قلیائیت مؤثر ۱۴٪، زمان پخت ۱۲۰ دقیقه، دما ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد، بازده ۴۸/۳۵٪، عدد کاپا ۳۳/۷۲ خمیر C<sub>3</sub>: قلیائیت مؤثر ۱۸٪، زمان پخت ۱۲۰ دقیقه، دما ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد، بازده ۴۱/۱۰٪، عدد کاپا ۲۱/۶۰ از خمیر کاغذهای پالایش‌شده، کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی ساخته شد. ویژگی‌های فیزیکی کاغذها اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

به منظور ساخت کاغذ دست‌ساز و مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن‌ها، دو خمیر کاغذ A<sub>1</sub> و C<sub>3</sub> انتخاب (دارای کم‌ترین و بیش‌ترین بازده و عدد کاپا) و تا رسیدن به درجه روانی حدود ۴۰۰ C.S.F. مورد پالایش قرار گرفتند. میزان تعداد دور پالایشگر برای رسیدن به این میزان در جدول ۵ نشان داده شده است. در این جدول (۵)، تأثیر شرایط پخت بر میزان مصرف انرژی برای رسیدن به درجه روانی ثانویه (C.S.F) خمیر کاغذها خلاصه شده است.

جدول ۵- تعداد دور پالایشگر و درجه روانی خمیر کاغذها

کد خمیر	درجه روانی اولیه (C.S.F)	تعداد دور پالایشگر	درجه روانی ثانویه (C.S.F)
A <sub>1</sub>	۸۹۰	۷۰۰۰	۴۱۰
C <sub>3</sub>	۶۷۵	۵۰۰۰	۳۸۵

کاغذهای دست‌ساز اندازه‌گیری شد که نتایج حاصل از آن‌ها در جدول ۶ و شکل‌های ۵-۳ نشان داده شده است.

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز مقادیر میانگین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

جدول ۶- مقادیر ویژگی‌های فیزیکی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ سمر

کد خمیر	ضخامت (mm)	بالک (cm <sup>3</sup> /g)	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )	وزن پایه (g/m <sup>2</sup> )
A <sub>1</sub>	۰/۱۰۲۲	۱/۶۹	۰/۶	۶۰/۴۶
C <sub>3</sub>	۰/۱۰۳۲	۱/۷	۰/۵۸	۶۰/۶۲

ضخامت دیواره سلولی بستگی دارد. به عبارتی با افزایش طول الیاف و ضخامت دیواره سلولی، مقاومت به پاره شدن کاغذ افزایش می‌یابد و با کاهش طول الیاف در طی پالایش، کاهش می‌یابد [۱۳]. با توجه به شکل ۴ مقدار شاخص مقاومت به پاره شدن با نتایج تحقیقات Sharifi [۱۵] بر روی اکالیپتوس کاملدولنسیس جیرفت و نتایج تحقیقات Khristova و همکاران [۱۰] بر روی اکالیپتوس میکروتکای سودان، مطابقت دارد و نسبت به نتایج تحقیقات Rashidi [۱۳] بر روی اکالیپتوس کاملدولنسیس و Bosia [۱۹] بر روی اکالیپتوس کاملدولنسیس کشور پرتغال، بیشتر است. دلیل این تفاوت می‌تواند علاوه بر تفاوت گونه‌ها، به دلیل تفاوت شرایط پخت و درصد ترکیبات شیمیایی در این گونه‌ها باشد.

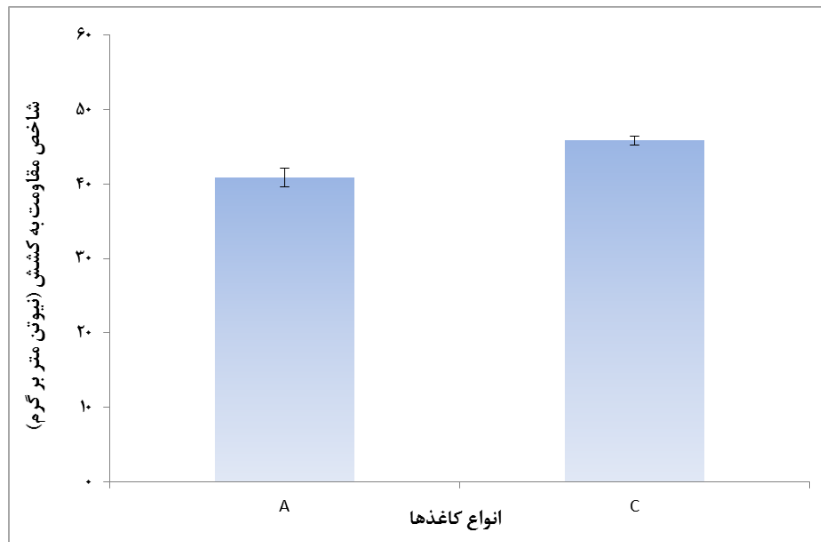
### مقاومت کششی

به طوری که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، مقاومت کششی خمیر کاغذ C بیشتر از خمیر کاغذ A است. نتایج حاصل از آزمون T- Test نشان داد که بین شاخص مقاومت کششی کاغذهای حاصل اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بیشتر بودن قلیایی مؤثر در خمیر کاغذ C (۱۸٪) نسبت به خمیر A (۱۴٪)، موجب خروج بیشتر لیگنین شده که حتی با تعداد دور کمتر پالایش نسبت به خمیر کد A، نتیجه بهتری در شاخص مقاومت کششی ایجاد نموده است. مقدار شاخص مقاومت کششی به دست آمده نسبت به نتایج تحقیقات Khristova و همکاران [۱۸] بر روی اکالیپتوس میکروتکای سودان کمتر است.

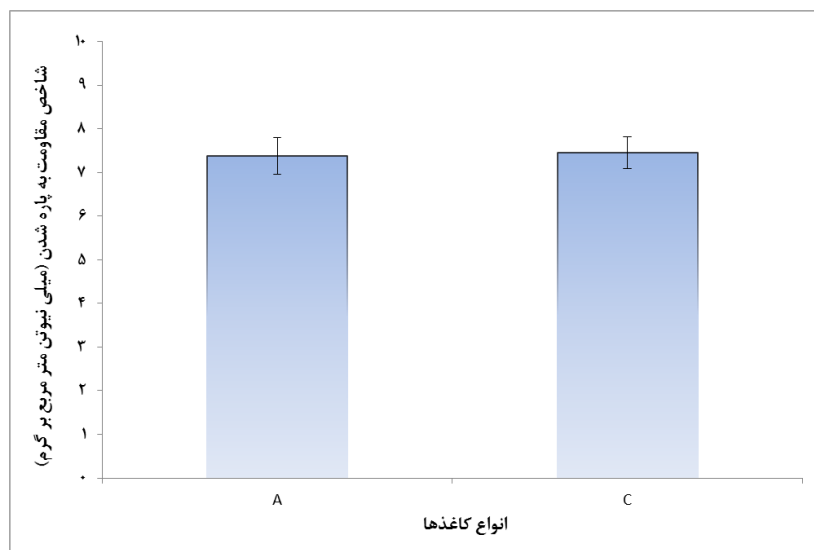
### مقاومت به پاره شدن

مقاومت کاغذ در برابر پاره شدن به طول الیاف و





شکل ۳- مقادیر مقاومت کششی کاغذهای دست‌سازگونه سمر

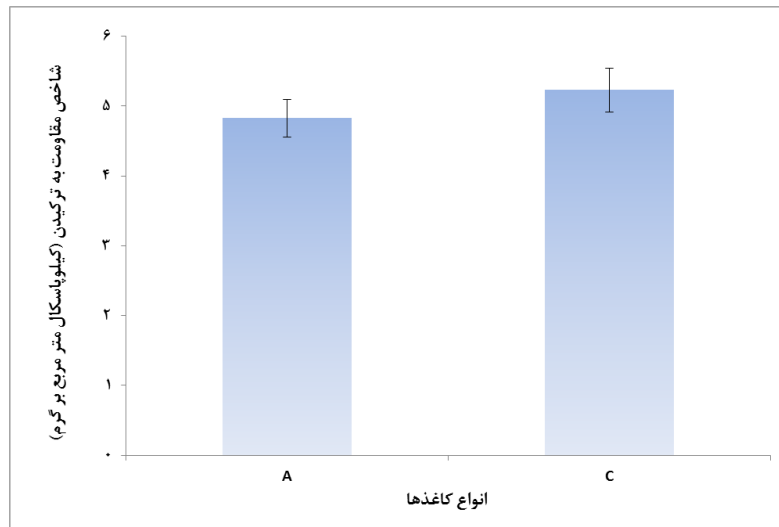


شکل ۴- مقادیر شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌سازگونه سمر

میکروتکای سودان تقریباً مطابقت دارد ولی نسبت به نتایج تحقیقات Fakhryan و همکاران [۱۱] بر روی اکالیپتوس میکروتکای ممسنی، Sepidehdam [۱۱] بر روی اکالیپتوس کاملدولنسیس دو رویشگاه زاغمرز (شمال) و فارس (جنوب)، نتایج تحقیقات Sharifi [۱۴] بر روی اکالیپتوس کاملدولنسیس جیرفت و نتایج تحقیق Bosia [۲۱] بر روی اکالیپتوس کشور پرتغال، بیشتر است.

#### مقاومت به ترکیدن

هر چه دیواره الیاف نازک‌تر یا انعطاف‌پذیرتر باشد و پالایش بیشتری بر روی آن‌ها انجام‌گیرد، به دلیل سطح اتصال و پیوند هیدروژنی بیشتر، مقاومت کاغذ در برابر ترکیدن بیشتر می‌شود [۱۰]. با توجه به شکل ۵ مقدار شاخص مقاومت به ترکیدن گونه سمر با نتایج تحقیقات Khristova و همکاران [۱۸] بر روی اکالیپتوس



شکل ۵- مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای دست‌ساز گونه سمر

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیومتری الیاف و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خمیر کاغذهای کرافت چوب کهور پاکستانی (سمر) مورد اندازه‌گیری و بررسی قرار گرفت. چوب این درخت سریع‌الرشد در مقایسه با اکثر گونه‌های سریع‌الرشد پهن‌برگ و سوزنی‌برگ از جرم مخصوص بالاتر و ماده چوبی بیشتر در واحد حجم برخوردار است. دامنه بازده خمیر کاغذ کرافت تهیه‌شده در این بررسی بین ۳۹/۸۷-۴۸/۳۵ درصد و عدد کاپای آن‌ها بین ۲۰/۴۹-۳۴/۱۵ اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج این تحقیق مشاهده می‌شود که با تشدید شرایط پخت و

پس از آن پالایش، مقاومت خمیر کاغذها افزایش یافت که با افزودن درصدی خمیر الیاف بلند، می‌توان قابلیت کاربرد این خمیر کاغذ در ساخت انواع بیشتری از کاغذ را فراهم کرد. در حال حاضر یکی از مشکلات عمده کارخانه‌های تولید خمیر کاغذ کمبود ماده اولیه لیگنوسولوزی است. شواهد و مطالعات انجام‌گرفته نشان می‌دهد که یکی از گونه‌هایی که در همه نقاط سواحل جنوبی کشور از غربی‌ترین تا شرقی‌ترین نقاط آن می‌روید درخت کهور است. این درختان به‌گونه‌ای هستند که در اوج کم‌آبی می‌توانند به حیات خود ادامه دهند و پیشنهاد گسترش کشت آن با هدف تهیه خمیر کاغذ جهت تأمین بخشی از مواد اولیه سلولزی موردنیاز صنایع چوب و کاغذ توصیه می‌گردد.

## مراجع

- [1] Ghasemi, A., Hydari, H. and Azadfar, D., 2009. The Effect of The Physico-Chemical Properties of Soils in Water Spreading Zone on Common Mesquite Tree Vegetative Characteristics in Tangestan, Bushehr Province. *Wood & Forest Science and Technology*, 18(1): 117-122. (In Persian).
- [2] Nahali Tahmasebi, M., 2000. Pakistan mesquite ecological assessment to produce compost in the province Hormozgan. *Agriculture economy and development*. eighth year, 31:305-323. (In Persian).
- [3] Saleheh Shooshtari, M. H., Amani, M., Behnamfar, K. and Nanaie, S., 2008. Survey on optimum planting spacing with three leguminous species in rain fed system (pure and mixed) on sandy hills of Khuzestan. *Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16 (1): 74-86. (In Persian).

- [4] Zaboli, A., 2013. Iran's largest mesquite forests under threat. [www.w.farsnews.com/newstext.php?nn=13911015000062](http://www.w.farsnews.com/newstext.php?nn=13911015000062). ( In Persian).
- [5] Guha, S. RD. and Gupta, RK., 1970. Production of writing and printing papers from *Prosopis juliflora*. *Journal Indian Forester*, 96 (6): 429-32.
- [6] Toghraie, N., Riyahi, H. and Hosseinzadeh, H., 2005. A study of mesquite wood (*Prosopis spicigera L.*) in Khuzistan, Iran. *Pajouhesh & Sazandegi*, 73:117-122. (In Persian).
- [7] Carrillo-Parra, P., 2007. Technological Investigation of *Prosopis Laevigata* Wood from, Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology of the University Northeast Mexico. Doctor of Phlosophy of Göttingen, 137 P.
- [8] Ogunwusi, A. A., 2012. The effect of chips storage on pulp and papermaking properties of mixed tropical species. *Journal of research in national development*, 10 (2): 18- 25.
- [9] Choudhury, K.C., Sridhar ,P., Agarwal naveen, Singh amar and Raina, R.L., 2008. Selection of alternate raw material among the locally available species. *IPPaTTA, J., VOL. 2: 119 P.*
- [10] Franklin, G. L., 1954. A rapid method of softening wood for microtome sectioning *Tropical Woods, Wood* 88: 86-88.
- [11] Rashidi, M.,2002. Investigate the chemical kraft pulp produced from eucalyptus wood and replaced them with long fiber pulp CMP to improve the quality of imported newsprint in Mazandaran Wood and Paper. Master's thesis, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,63 P.(In Persian).
- [12] Sepidehdam, S. J., 1998. Investigation on properties of NSSC Pulp from *Eucalyptus camaldulensis* wood grown in Zaghamarz & Fars province. *Wood and Paper Research, Islamic Republic of Iran, Ministry of Jihad-e-Keshavarzi, Research Institute of Forest and Rengelands*, 182:65- 148.(In Persian).
- [13] Mahdavi, S., Hosseinzadeh, A., Familian, H. and Habibi, M. R.,2004. Investigation on relation of fiber dimention and wood density with age and ring width in *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Islamic Republic of Iran, Ministry of Jihad-e-Keshavarzi, Research Institute of Forest and Rengelands, 19 (1):69-97. (In Persian).
- [14] Higgins, H.G. and Puri,V., 1976. Chemiternomechanical pulp from young Eucalyptus. *Ist Latin Am. Congr. On pulp and paper, Buenos Aier-Argentin.* 3: 39-46.
- [15] Sharifi, S., 1386. Evaluation of mechanical properties of jumping *E. camaldulensis* trunks of Jiroft province and Experimental pulping neutral sulfite semi-chemical method(NSSC). Master's thesis, Dept. of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 113 p. (In Persian).
- [16] Mirshokraei, S. A. and SAdeqifard, H.,2002. *The Chemistry of Paper*, Ayyzh publications, 184 p. (In Persian).
- [17] Mirshokraei, S. A., 1997. *Handbook for pulp and paper technologists.*, Payamenoor University, 80p. (In Persian).
- [18] Ahmed, A., Akhtar, M. M. and Gary, C. S., 1998. Kraft pulping of industrial wood waste. *Pulping Conference, October 25-29., Queen Elizabeth Hotel, Montreal, Quebec, Canada, Atlanta, GA : TAPPI Press. P 993-1000.*
- [19] Khristova, P., 2000. Pulping potential of some exotic hardwoods grown in Sudan. *Tropical Sci*,40:11-19.
- [20] Khristova, P., Kordsachia, O., Patt, R. and Dafaalla, S., 2006. Alkaline pulping of some Eucalyptus from sudan. *Bioresource Technology*,97: 535-544.
- [21] Bosia, A. and Lorenz, C., 1965. Paper making properties of six further species of Eucalyptus, *Cellulosa Carta*,16 (9): 7-27.
- [22] Fakhryan, A., Hosseinzadeh, A., Golbabaei, F. and Hosseinkhani, H., 2004. Investigation on Delignification and pulping of Spruce(*Picea abies*). Islamic Republic of Iran, Ministry of Jihad-e-Keshavarzi, Research Institute of Forest and Rengelands, 18 (2):219-239. (In Persian).
- [23] Bosia, A.,1963. Pulping and Papermaking Properties of Fast Growing plantation wood species. The FAO technical papers. 1:10-19.

## Evaluation of *Prosopis juliflora* (Mesquite) potential in Kraft pulping

### Abstract

In this research, physical, biometrical and chemical properties of *Prosopis juliflora* wood as well as physical and mechanical properties of kraft pulp from this species were investigated and calculated. Dry and critical densities of *Prosopis juliflora* were 0.806 and 0.696 g/cm<sup>3</sup>, respectively. Fiber length was 895 $\mu$ m, and cellulose, lignin, extractives, and ash were 48.80%, 23.66%, 3.88%, and 1.1%, respectively. The preparation conditions of Kraft pulp were as follows: effective alkaline 14, 16 and 18%, cooking time 120 and 180 min, temperature of cooking 170 and 180 °C and L/W ratio 5 to 1. After calculating the amounts of yield and Kappa number of pulps, two treatments were determined. The freeness of two pulps was achieved approximately 400 (CSF) by refining. Then, physical and mechanical properties of the handsheets were calculated. Finally, statistical analysis of pulp and handsheets data were performed by completely randomized factorial, duncan and T-test methods. The results showed that the handsheets resulted from produced Kraft pulp under the following conditions had better mechanical properties: effective alkaline of 18%, cooking time of 120 minutes, and cooking temperature of 180°C. The investigation results showed that *Prosopis juliflora* of south regions of the country has suitable properties for Kraft pulp preparation in comparison to other similar hardwood species and development of its planting is recommended in the region.

**Keywords:** *Prosopis juliflora*, Kraft pulp, physical properties, chemical properties, mechanical properties.

A. Fakhryan Roghani<sup>1\*</sup>  
R. Yazdani<sup>2</sup>  
A. Ghasemian<sup>3</sup>  
H. Resalati<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Head of the Wood Chemistry and Papermaking Laboratories, Forest and Rangelands Research Institute, Tehran, Iran.

<sup>2</sup> M.Sc in Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, province: Golestan, Iran.

<sup>3</sup>Associate Prof. in Pulp and Paper Industries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, province: Golestan, Iran.

<sup>4</sup>Prof. Dept. of Pulp and Paper Sciences and Technology, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

Corresponding author:  
[fakhryan@rifr-ac.ir](mailto:fakhryan@rifr-ac.ir)

Received: 2015.03.30  
Accepted: 2015.07.25