

## بررسی امکان ساخت خمیر کاغذ کرافت از چوب درخت کریپتومریا

### چکیده

در این بررسی ویژگی‌های شیمیایی، آناتومیکی، خمیر کاغذ و کاغذسازی درخت سوزنی‌برگ کریپتومریا از منطقه پیسه‌سون استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. متوسط جرم ویژه نسبی خشک و بحرانی چوب این درخت به ترتیب ۰/۳۷۶ و ۰/۳۳۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب و میانگین طول تراکئیدها، قطر تراکئیدها، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی تراکئیدها به ترتیب ۲/۹۲ میلی‌متر، ۴۱/۲۳ میکرون، ۳۲/۵۷ میکرون و ۴/۴۱ میکرون اندازه‌گیری شد. میزان هولوسلولز این درخت ۷۱/۸۸٪ و میزان  $\alpha$  سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد استخراجی آن به ترتیب ۴۸/۳۵، ۳۲/۰۸، ۰/۹۸۸٪ و ۵/۶۴۴٪ اندازه‌گیری شد. بازده کل خمیر کاغذهای کرافت در این تحقیق به‌طور متوسط ۵۰/۵۳ درصد به‌دست آمد. با افزایش میزان قلیائیت مؤثر از ۱۲٪ به ۱۸٪ بازده خمیر کاغذها کاهش یافت که این اختلاف کاهش در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد. با تغییر زمان پخت اختلاف بازده خمیر کاغذها در سطح اطمینان ۹۹٪ مشاهده شد. میانگین طول پاره‌شدن کاغذها در قلیائیت مؤثر ۱۲ درصد ۷/۳۶ کیلومتر، در قلیائیت مؤثر ۱۴ درصد برابر ۷/۱۷ کیلومتر و در قلیائیت مؤثر ۱۸ درصد ۹/۱۴ کیلومتر و میانگین مقاومت در برابر ترکیدن آن‌ها در قلیائیت مؤثر ۱۲ درصد ۴/۸۷  $\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  در قلیائیت مؤثر ۱۴ درصد ۴/۹۳  $\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  و در قلیائیت مؤثر ۱۸ درصد مقدار ۱۹/۶  $\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  به‌دست آمد.

**واژگان کلیدی:** چوب کریپتومریا، خمیر کاغذ کرافت، بازده خمیر کاغذ، عدد کاپا، مقاومت در برابر ترکیدن، مقاومت در برابر پاره‌شدن.

عباس فخریان روغنی\*

رئیس آزمایشگاه شیمی چوب و کاغذسازی/مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

مسئول مکاتبات:

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۱۲

### مقدمه

میزان مصرف کاغذ در جهان بیش از سیصد و پنجاه میلیون تن در سال است که بیش از نیمی از آن در آمریکای شمالی و اروپا تولید می‌شود [۱]. سوزنی‌برگان نقش اصلی را در تأمین مواد اولیه کاغذسازی دارند (۶۲٪)

و به دلیل داشتن الیاف بلند (تراکئید) نسبت به الیاف پهن‌برگان و پسماند محصولات کشاورزی مقاوم‌ترند. تراکئیدها ۹۰٪ حجم اکثر سوزنی‌برگان را تشکیل داده و مهم‌ترین سلول‌های سوزنی‌برگان در ساخت کاغذ محسوب می‌شوند. متوسط طول تراکئیدها بین ۲ تا ۴ میلی‌متر

فاکتورهای طول الیاف، میزان شایو، مقاومت در برابر ترکیدگی، مصرف انرژی و براقیت خمیر کاغذ به ترتیب اهمیت قرار گرفته‌اند. در مورد ۴ گونه سوزنی‌برگ از جمله *Cryptomeria japonica* طول الیاف مهم‌ترین عامل و پس از آن مصرف انرژی قرار می‌گیرد. طول فیبر مهم‌ترین عامل خمیر کاغذ CTMP دو گونه غیر چوبی بود [۴].

Onodera isao و همکاران (۲۰۰۳)، بیان داشتند که درخت کریپتومریا از فراوان‌ترین درختان سوزنی‌برگ در کشور ژاپن است و در صنایع مبلمان، بشکه سازی، کفش سازی و دیگر صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. این درخت به دلیل داشتن لیگنین و مواد استخراجی زیاد در مقایسه با گونه‌های دیگر سوزنی‌برگ مانند نوئل هملاک و کاج رادپاتا برای تولید خمیر کاغذ مکانیکی مناسب نمی‌باشد. تحقیقات آزمایشگاهی با به‌کارگیری چندین روش پخت، تغییر تیمار شیمیایی و درجه حرارت ریفاینر (پالایشگر) نشان داد که خمیر کاغذ CTMP این گونه به دلیل داشتن ضریب پخش نور و براقیت زیاد برای تولید کاغذهای چاپ و تحریر مناسب است [۵].

Tutus و همکاران (۲۰۱۰)، میزان هولوسلولز، سلولز، α سلولز، لیگنین، مواد استخراجی محلول در الکل استون و خاکستر گونه‌های سوزنی‌برگ را به ترتیب بین ۸۱-۷۰٪، ۵۱-۴۲٪، ۴۵-۴۰٪، ۳۲-۲۴٪، ۸-۱٪ و <۱٪ و طول الیاف، قطر الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی آن‌ها را به ترتیب بین ۷-۳ میلی‌متر، ۴۳-۳۲ میکرون، ۳۰-۱۵ میکرون و ۱۷-۱۳ میکرون گزارش کردند [۶].

Golbabaei و همکاران (۱۹۹۸)، در بررسی ویژگی‌های کاربردی خمیر کاغذ کرافت از چوب کاج الداریکا، میانگین طول الیاف، قطر الیاف و ضخامت دیواره الیاف را به ترتیب ۳/۳۷ میلی‌متر، ۴۸/۱۶ میکرون و ۶/۷۲ میکرون اندازه‌گیری کردند. بازده خمیر کاغذ در شرایط پخت ۹۰ دقیقه و قلیائیت فعال ۱۸ درصد ۴۳/۴٪ و عدد کاپای آن ۳۶/۲ به دست آمد [۷].

Mirshokraei (۱۹۹۷) بیان می‌کند، حدود ۳۰٪ از سطح کره زمین را جنگل‌ها پوشانده‌اند و از حدود نیمی از این مساحت به صورت تجارتی بهره‌برداری می‌شود. بیش از ۸۰٪ از کل چوب‌های صنعتی از جنگل‌های آمریکای شمالی، اروپا و روسیه تأمین می‌شود. چوب سوزنی‌برگان و

است [۲]. یکی از درختان سوزنی‌برگ که در طرح سازگاری سوزنی‌برگان شمال کشور نتایج نسبتاً خوبی داشته است درخت کریپتومریا ژاپونیکا (*Cryptomeria japonica*) است. این درختان در حدود ۳۰٪ از سطح خاک جنگل‌های ژاپن را می‌پوشانند و در باغ‌ها و معابر به مقدار زیاد کاشته می‌شود. درختانی بلند با تنه مستقیم، قاعده پهن و وسیع، پوست قرمز درخشان، تاج منظم مخروطی و با رنگ سبز تیره هستند و تا ارتفاع ۱۸۰۰ متری دیده می‌شوند.

Uraki و همکارش (۱۹۹۹) بیان می‌کنند که سیستم جانبی خمیر کاغذ پلی هیدرولیک الکل<sup>۱</sup> که به منظور تهیه خمیر کاغذ از قطعات نازک و با کیفیت پایین سوزنی‌برگان در جریان برش‌های تکمیلی این درختان حاصل شده‌است، توسعه داده شده‌است. پروپیلن گلیکول (PG) نسبت به اتیلن گلیکول (EG) که به عنوان حلال (مابع پخت) خمیر کاغذ پلی هیدرولیک الکل در فشار اتمسفر به کار رفته بود از وضعیت بهتری برخوردار بود. خمیر کاغذ (PG) درختان سوزنی [*Abies sp.*] 'fir' و [*Larix sp.*] 'red cedar' [*Cryptomeria japonica*] با به‌کارگیری اسید سولفوریک به عنوان کاتالیزور، خمیر کاغذهای رضایت‌بخشی با خمیر کاغذ وزده<sup>۲</sup> و رسوب لیگنین کم در مقایسه با خمیر کاغذ (EG) تولید کرد. خمیر کاغذ (PG) با تیمار کلریت سدیم در یک مرحله به آسانی رنگ‌بری شده و تقریباً به عدد کاپای ۱ و براقیت ۸۰٪ رسیده‌است. بازده خمیر کاغذ fir ۴۴/۷٪ بود و خمیر کاغذ رنگ‌بری شده آن از میزان سلولز و ویسکوزیته بالایی برخوردار بود و ویژگی‌های مقاومتی آن‌ها شبیه خمیر کاغذهای کرافت بود؛ بنابراین خمیر کاغذ پلی هیدرولیک الکل به عنوان روشی جدید در تولید خمیر کاغذ حلال آلی از سوزنی‌برگان به حساب می‌آید [۳].

Lan و همکاران (۲۰۰۰) در بررسی خمیر کاغذ CTMP، اهمیت ویژگی‌های بعضی از فاکتورهای حاصل از پخت ۱۴ گونه (۸ گونه پهن‌برگ، ۴ گونه سوزنی‌برگ و دو گونه غیر چوبی) شامل میزان شایو (تراشه‌های الیاف)، طول الیاف، مقاومت در برابر ترکیدگی، مصرف انرژی و براقیت خمیر کاغذها را مورد تحقیق قرار دادند. برای ۸ گونه پهن‌برگ

<sup>1</sup> Polyhydrolic-alcohol

<sup>2</sup> Rejects

### تهیه نمونه برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، آناتومیکی، شیمیایی و تهیه خرده چوب

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، مکعب‌هایی به ضلع 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 تهیه خرده چوب از مخلوط نمونه‌ها و یک خردکن آزمایشگاهی استفاده شد. برای جداسازی الیاف از روش فرانکلین (۱۹۵۴) استفاده شد [۹]. برای تهیه آرد چوب جهت آنالیز ترکیبات شیمیایی از دستورالعمل شماره ۲۰۲ cm-T257 استاندارد TAPPI، تهیه آرد چوب عاری از مواد استخراجی از دستورالعمل شماره ۹۷ cm-T264 استاندارد TAPPI، اندازه‌گیری مواد استخراجی مطابق با دستورالعمل شماره ۹۷ cm-T204 آئین‌نامه TAPPI، اندازه‌گیری مقدار خاکستر بر اساس دستورالعمل شماره ۰۲ om-T211 آئین‌نامه TAPPI، لیگنین مطابق با دستورالعمل شماره ۰۲ om-T22 استاندارد TAPPI، اندازه‌گیری مقدار سلولز مطابق با دستورالعمل شماره ۸۸ om-T264 آئین‌نامه TAPPI و اندازه‌گیری آلفا سلولز و هولوسلولز از دستورالعمل Rowell (۲۰۰۵) استفاده شد.

### تهیه خمیر کاغذ

برای پخت و تهیه خمیر کاغذ از روش کرافت استفاده شد. پس از انجام پخت‌های آزمایشی، عوامل ثابت و متغیر پخت به شرح ذیل در نظر گرفته شد.

- زمان پخت (ساعت): ۲-۳
- قلیائیت مؤثر (بر مبنای  $\text{Na}_2\text{O}$ ): ۱۲٪، ۱۴٪، ۱۶٪ و ۱۸٪
- درجه حرارت پخت: ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد
- سولفیدیت (بر مبنای  $\text{Na}_2\text{O}$ ): ۲۵٪
- نسبت L/W: ۵ به ۱

پس از پایان زمان پخت، جداسازی الیاف توسط دفیبراتور آزمایشگاهی انجام گرفته و سپس نمونه‌ها شستشو داده شدند. به‌منظور جداسازی الیاف پخته نشده (وازده) از الک با مش ۲۰ استفاده شد.

پهن‌برگان هر دو برای ساخت کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرند که البته از نظر مرفولوژی الیاف و خصوصیات کاغذسازی اختلاف زیادی با یکدیگر دارند. الیاف سوزنی‌برگان نسبت به الیاف پهن‌برگان بلندتر و مقاوم‌تر هستند و نقش اصلی در تأمین مقاومت مواد خام کاغذسازی دارند. در صنایع کاغذسازی برای شکل‌پذیری بهتر و تأمین مقاومت کاغذ، از مخلوط الیاف سوزنی‌برگ و پهن‌برگ استفاده می‌شود [۲].

Fakhryan و همکاران (۲۰۰۳)، میانگین جرم ویژه نسبی خشک و بحرانی درخت پیسه‌آ آبیس منطقه پیسه سون اسالم را به ترتیب  $0.334$  و  $0.306 \text{ g/cm}^3$  و میانگین طول تراکنیدها، قطر تراکنیدها و ضخامت دیواره آن‌ها را به ترتیب  $3.07$  میلی‌متر،  $44.67$  میکرون و  $4.19$  میکرون اندازه‌گیری کردند. میانگین سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد استخراجی چوب این درخت به ترتیب  $59.74\%$ ،  $28.94\%$ ،  $0.41\%$  و  $0.13\%$  تعیین شد. در پخت این چوب و تهیه خمیر کاغذ به روش کرافت (سولفات) در اثر افزایش قلیائیت مؤثر بازده و عددکاپای خمیر کاغذها کاهش یافت، به‌طوری‌که بازده خمیر کاغذها در قلیائیت مؤثر  $0.16$  برابر  $48.67\%$ ، قلیائیت مؤثر  $0.18$  برابر  $44.67$  درصد و قلیائیت مؤثر  $0.20$  برابر  $45.63\%$  و عددکاپای آن‌ها نیز به ترتیب  $46.85$ ،  $33.98$  و  $26.89$  اندازه‌گیری شد [۸].

در این تحقیق خصوصیات فیزیکی، آنالیز ترکیب شیمیایی، خمیر کاغذ و کاغذ چوب درخت سوزنی‌برگ کریپتومریا که الیاف آن نسبت به الیاف پهن‌برگان بلندتر و مقاوم‌تر هستند و نقش اصلی در تأمین مقاومت مواد خام کاغذسازی را می‌تواند داشته باشد، مورد بررسی قرار گرفته است. از بین خمیر کاغذهای مناسب به‌لحاظ بازده و عدد کاپا، کاغذهای دست‌ساز تهیه و ویژگی‌های مقاومتی آن‌ها اندازه‌گیری و مورد مقایسه قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری درخت کریپتومریا از طرح بررسی سازگاری این درخت از منطقه پیسه‌سون در مسیر اسالم به خلخال استان گیلان انجام گرفت. قطر برابر سینه دو درخت قطع شده  $19/85$  و  $22/21$  سانتی‌متر و ارتفاع آن‌ها  $16/78$  و  $18/18$  متر اندازه‌گیری شد.

خمیر کاغذها به درجه روانی ۳۵۰ میلی لیتر (CSF) کاغذ دست ساز تهیه شد. پالایش خمیر کاغذها و اندازه گیری ویژگی های مقاومتی و نوری کاغذهای دست ساز مطابق با استانداردهای زیر انجام گرفت.

هر پخت با سه تکرار انجام شده و پس از هر بار پخت، بازده کل و عدد کاپای خمیر کاغذها اندازه گیری شد. از بین خمیر کاغذهای پخته شده در زمان پخت ۱۲۰ دقیقه و قلیائیت مؤثر ۱۲٪، ۱۴٪ و ۱۸٪، پس از پالایش و رساندن

آیین نامه شماره ۰۰- T ۲۴۸ sp استاندارد TAPPI	پالایش خمیر کاغذ
آیین نامه شماره ۰۲- T ۲۰۵ sp استاندارد TAPPI	ساخت کاغذ دست ساز
آیین نامه شماره ۰۴- T ۴۱۴ om استاندارد TAPPI	مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ
آیین نامه شماره ۰۲- T ۴۰۳ om استاندارد TAPPI	مقاومت در برابر ترکیدن کاغذ
آیین نامه شماره ۸۸- T ۴۹۸ om استاندارد TAPPI	طول پاره شدن کاغذ

### جرم مخصوص

جرم مخصوص نشان دهنده مقدار ماده در واحد حجم است. جرم مخصوص بیشتر، بیان گر ماده چوبی بیشتر در واحد حجم است. نتایج حاصل از اندازه گیری جرم مخصوص خشک و بحرانی چوب درخت کریپتومریا در جدول ۱ خلاصه شده است.

برای مقایسه ابعاد الیاف، خواص فیزیکی و ترکیب شیمیایی از میانگین و انحراف از معیار، بازده خمیر کاغذها از آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی، ویژگی های مقاومتی کاغذهای دست ساز از جدول تجزیه واریانس یک طرفه و جهت گروه بندی میانگین ها از آزمون دانکن استفاده شده است.

### نتایج و بحث

جدول ۱- جرم مخصوص خشک و بحرانی چوب درخت کریپتومریا

میانگین (گرم بر سانتی متر مکعب)	فاکتور اندازه گیری شده
۰/۳۷۶ (۰/۸۷)*	جرم ویژه خشک
۰/۳۳۸ (۰/۰۶۵)*	جرم ویژه بحرانی

\* اعداد داخل پرانتز انحراف از معیار نمونه است.

حجم چوب، معمولاً به طور مستقیم با چگالی رابطه دارد. چگالی زیاد چوب، عموماً نشانه ای از پاسخ آهسته تر به کوبیدن (زدن)، مقاومت کششی کمتر، مقاومت کمتر در آزمون ترکیدگی و تاه خوردگی، حجم بیشتر و مقاومت بیشتر نسبت به پارگی است [۲]. در بررسی به عمل آمده توسط Lan و همکاران (۲۰۰۰) در مورد ۴ گونه سوزنی برگ از جمله *Cryptomeria japonica* طول الیاف را مهم ترین عامل و پس از آن مصرف انرژی را عنوان کردند [۴]. پایین بودن مصرف انرژی در چوب *Cryptomeria japonica* می تواند به دلیل خیلی سبک بودن این چوب و ساختمان بازتر آن باشد.

متوسط جرم مخصوص خشک و بحرانی چوب درخت کریپتومریا به ترتیب ۰/۳۷۶ و ۰/۳۳۸ گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمد. وزن مخصوص (D) چوب گونه های مهم سوزنی برگ به ۵ گروه خیلی سبک ( $D > 0.4$ )، سبک ( $0.4 < D < 0.5$ )، نیمه سنگین ( $0.5 < D < 0.6$ )، سنگین ( $0.6 < D < 0.7$ ) و خیلی سنگین ( $D > 0.7$ ) تقسیم می شود [۱۰]. چوب این درخت جزء چوب های با جرم مخصوص خیلی سبک ( $D < 0.4$ ) به حساب می آید. جرم مخصوص تا حدودی خصلتی است که به طور ژنتیکی منتقل می شود. بین چگالی چوب و بسیاری از خواص خمیر و کاغذ حاصل همبستگی خوبی وجود دارد. بازده خمیر به ازای واحد

## ابعاد تراکئیدها

به منظور تعیین ابعاد الیاف، ابعاد ۱۰۰ فیبر (از قسمت‌های مختلف دیسک تهیه شده از ارتفاع قطر برابر سینه) اندازه گیری شد. در جدول ۲ میانگین ابعاد الیاف و ضرایب کاغذسازی درخت کریپتومریا آورده شده است.

خواص کاغذ بستگی شدیدی به الیاف تشکیل دهنده

آن دارد. مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری الیاف عبارت‌اند از طول الیاف و ضخامت دیواره سلولی. برای تشکیل پیوندهای بین فیبری، طول الیاف نباید از حد معینی کمتر باشد و طول فیبر در واقع با مقاومت در برابر پارگی کاغذ متناسب است. با ضخیم شدن دیواره الیاف، دانسیته الیاف افزایش می‌یابد، الیاف مقاومت بیشتری در مقابل نیروهای فشاری وارده از خود نشان داده و شکل اولیه مقطع عرضی خود را حفظ می‌کنند [۲].

جدول ۲- ابعاد الیاف و ضرایب کاغذسازی چوب درخت کریپتومریا

میانگین	فاکتور اندازه‌گیری شده
۲/۹۲(۰/۳۹)	طول فیبر (میلی‌متر)، L
۴۱/۲۳(۹/۷۸)	قطر فیبر (میکرون)، d
۳۲/۵۷(۹/۸۴)	قطر حفره سلولی (میکرون)، c
۴/۴۱(۱/۸۷)	ضخامت دیواره سلولی (میکرون)، p
۷۰/۸۲	ضریب درهم‌رفتگی (L/d)
۷۹	ضریب نرمش (c/d)
۲۷/۰۸	ضریب مقاومت به پارگی (۲p/c*۱۰۰)

\* اعداد داخل پرانتز انحراف از معیار نمونه است.

## ترکیبات شیمیایی

در جدول ۳ نتایج حاصل از اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی آورده شده است. کیفیت خمیر و کاغذ تحت تأثیر خصوصیات شیمیایی و ویژگی‌های مرفولوژی الیاف قرار دارد. ماده لیگنوسولزی از زیرمجموعه‌هایی چون سلولز، همی سلولز (پلی‌اوزها)، لیگنین، مواد استخراجی و مواد معدنی تشکیل شده‌اند [۱۲]. سلولز مهم‌ترین ترکیب ساختاری دیواره‌های سلولی است و بعد از حذف لیگنین و انواع دیگر مواد استخراجی نیز مهم‌ترین ترکیب ساختاری کاغذ محسوب می‌شود. اثرات مثبت همی سلولزها روی خصوصیات خمیر و کاغذ امری کاملاً پذیرفته شده است. مقاومت کششی کاغذ با میزان همی سلولزهای آن ارتباط مستقیم دارد و همچنین ممکن است در افزایش واکنشیدگی الیاف و همچنین انعطاف‌پذیری الیاف تر در حین شکل‌پذیری ورق کاغذ نقش داشته باشد [۱۳]. میزان هولوسولوز درخت کریپتومریا ۷۱/۸۸٪ و میزان سلولز،  $\alpha$  سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد استخراجی آن

میانگین طول تراکئیدها، قطر تراکئیدها، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی تراکئیدها به ترتیب ۲/۹۲ میلی‌متر، ۴۱/۲۳ میکرون، ۳۲/۵۷ میکرون و ۴/۴۱ میکرون اندازه‌گیری شد. Golbabaei و همکاران (۱۹۹۸) میانگین کلی طول الیاف چوب درخت کاج الداریکا را ۳/۴۶۴ میلی‌متر اندازه‌گیری کردند که از طول الیاف چوب درخت کریپتومریا بزرگ‌تر است [۷]. ضرایب کاغذسازی این درخت شامل ضریب درهم‌رفتگی، ضریب نرمش و ضریب مقاومت در برابر پارگی به ترتیب ۷۰/۸۲، ۷۹ و ۲۷/۰۸ اندازه‌گیری شد. Fakhryan و همکاران (۲۰۰۳) ضریب لاغری (درهم‌رفتگی)، ضریب نرمش و ضریب رانکل (مقاومت در برابر پارگی) چوب درخت نراد منطقه پیسه-سون را به ترتیب ۶۷/۷۲، ۸۱/۲۳ و ۳۲/۰۲ به دست آوردند [۵] که نتایج به دست آمده نزدیک به نتایج به دست آمده در این تحقیق است. در تقسیم‌بندی طول الیاف در تراکئید سوزنی‌برگان، طول الیاف در تراکئیدهای این درخت در گروه کوتاه (> ۳ میلی‌متر) قرار می‌گیرد [۱۱].

اتانول این درخت را به ترتیب ۵۴/۲۱٪، ۳۰/۱۷٪، ۰/۲۵٪ و ۱/۵۳٪ اندازه‌گیری کردند [۱۴]. میزان هولوسلولز درخت نراد از هولوسلولز درخت کریپتومریا بیشتر ولی لیگنین آن کمتر است. دلیل این اختلاف می‌تواند نوع گونه و شرایط رویشگاه باشد. Onodera isao و همکاران (۲۰۰۳)، بیان داشتند که درخت کریپتومریا به دلیل داشتن لیگنین و مواد استخراجی زیاد در مقایسه با گونه‌های دیگر سوزنی‌برگ مانند نونل<sup>۱</sup> هملاک و کاج رادیاتا برای تولید خمیرکاغذ مکانیکی مناسب نیست [۵].

به ترتیب ۵۵/۰۲٪، ۴۸/۳۵٪، ۳۲/۰۸٪، ۰/۹۸۸٪ و ۵/۶۴۴٪ اندازه‌گیری شد. Tutus و همکاران (۲۰۱۰)، میزان هولوسلولز، سلولز،  $\alpha$ -سلولز، لیگنین، مواد استخراجی محلول در الکل استون و خاکستر گونه‌های سوزنی‌برگ را به ترتیب بین ۸۱-۷۰٪، ۵۱-۴۲٪، ۴۵-۴۰٪، ۳۲-۲۴٪، ۸-۱٪ و کمتر از ۱٪ گزارش کردند [۶]. میزان سلولز و  $\alpha$ -سلولز درخت کریپتومریا کمی بیشتر از میزان سلولز و  $\alpha$ -سلولز گونه‌های سوزنی‌برگ است. Ruxanda و همکارش (۲۰۰۳)، میزان هولوسلولز درخت نراد را ۸۱/۱۲٪ و میزان سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد استخراجی محلول در

جدول ۳- ترکیب شیمیایی چوب درخت کریپتومریا

میانگین	فاکتور اندازه‌گیری شده
۷۱/۸۸ (۰/۲۲)	هولوسلولز
۴۸/۳۵ (۰/۵۷)	$\alpha$ سلولز (درصد)
۳۲/۰۸ (۰/۱۴)	لیگنین (درصد)
۵/۶۴ (۰/۱۲)	مواد استخراجی (درصد)
۵۵/۰۲	سلولز
۰/۹۹ (۰/۰۲)	خاکستر (درصد)

اعداد داخل پرانتز انحراف از معیار نمونه است.

است. غلظت قلیائیت مؤثر مهم‌ترین عامل مؤثر در تولید خمیرکاغذ قلیایی است [۱۵]. در جریان واکنش پخت کرافت، کربوهیدرات‌ها به‌ویژه همی‌سلولزها و تا حدودی سلولز تحت تأثیر مواد شیمیایی قرار می‌گیرند و تانندهای حل می‌شوند. معمولاً در جریان یک پخت عادی تقریباً ۸۰٪ لیگنین، ۵۰٪ همی‌سلولزها و ۱۰٪ سلولز حل می‌شود [۲]. گروه‌بندی بازده و عدد کاپای خمیرکاغذها تحت تأثیر افزایش قلیائیت مؤثر در جدول ۵ آورده شده است. با تغییر زمان پخت نیز اختلاف بازده خمیرکاغذهای تهیه‌شده در زمان پخت ۲ ساعت با بازده ۵۱/۸۵٪ در گروه a و خمیرکاغذهای تهیه‌شده در زمان پخت ۳ ساعت با بازده ۴۹/۲۱ درصد در گروه b قرار گرفتند. افزایش زمان پخت باعث تداوم بیشتر واکنش‌های پخت و تخریب بیشتر لیگنین و پلی‌ساکاریدها شده که در نتیجه بازده و عدد کاپا کاهش می‌یابد. در شکل ۱ منحنی بازده و عدد کاپای خمیرکاغذها تحت تأثیر زمان پخت و نشان داده شده است.

### خمیرکاغذ

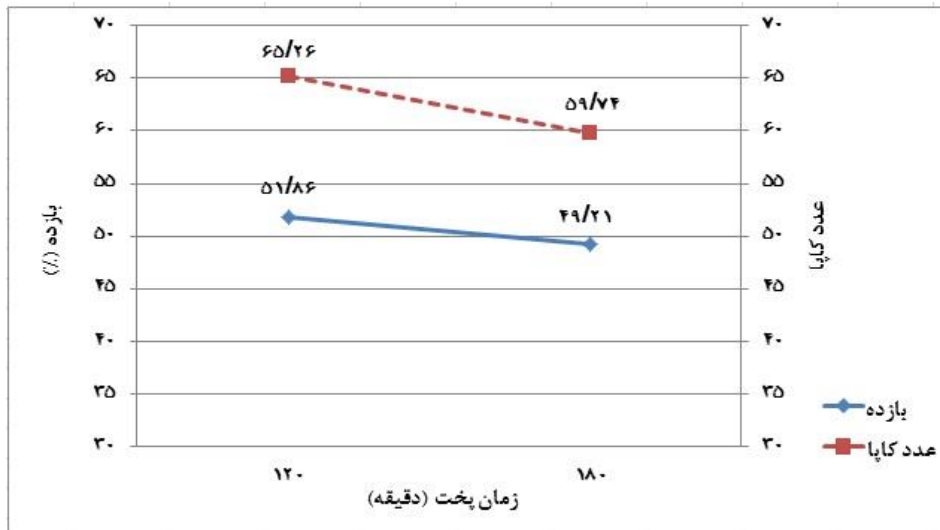
در جدول ۴ نتایج حاصل از اندازه‌گیری بازده کل و عدد کاپای خمیرکاغذها خلاصه شده است. بیشترین بازده با ۶۹/۰۷٪ در شرایط پخت قلیائیت مؤثر ۱۲٪ و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه و کمترین بازده با ۴۰/۴۶٪ در شرایط پخت قلیائیت مؤثر ۱۸٪ و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه به‌دست آمد. عدد کاپای این دو خمیرکاغذ به ترتیب ۸۴/۴۲ و ۳۹/۷۷ اندازه‌گیری شده است. تجزیه و تحلیل آماری نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش میزان قلیائیت مؤثر از ۱۲٪ به ۱۸٪ بازده خمیرکاغذها کاهش یافت که این اختلاف کاهش در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد، به طوری که بازده خمیرکاغذ تهیه‌شده در قلیائیت ۱۲٪ با ۶۶/۳۱٪ در گروه a و پس‌از آن خمیرکاغذهای تهیه‌شده در قلیائیت مؤثر ۱۴، ۱۶ و ۱۸ درصد با مقادیر ۵۱/۴۲٪، ۴۳/۵۵٪ و ۴۰/۸۴ درصد به ترتیب در گروه‌های b، c و d قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش مواد شیمیایی بازده و عدد کاپای خمیرکاغذها کاهش یافته

جدول ۴- بازده کل و عدد کاپای خمیر کاغذهای چوب درخت کریپتومریا

میانگین	بازده	زمان پخت (دقیقه)	قلیائیت مؤثر %
عدد کاپا			
۸۴/۴۲	۶۹/۰۷		۱۲
۸۱/۴۷	۵۲/۲۶		۱۴
۵۴/۱۶	۴۵/۶۲		۱۶
۳۹/۷۷	۴۰/۴۶	۱۲۰	۱۸
۸۱/۰۱	۶۳/۵۵		۱۲
۷۲/۰۷	۵۰/۵۷		۱۴
۵۱/۸۲	۴۱/۴۸		۱۶
۳۲/۰۶	۴۱/۲۲	۱۸۰	۱۸

جدول ۵- گروه بندی میانگین بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها

گروه بندی	بازده	عدد کاپا	بازده (درصد)	قلیائیت مؤثر (درصد)
(a)	(a)	۸۲/۷۱	۶۶/۳۱	۱۲
(b)	(b)	۷۶/۷۷	۵۱/۴۲	۱۴
(c)	(c)	۵۲/۹۹	۴۳/۵۵	۱۶
(d)	(d)	۳۶/۹۲	۴۰/۸۴	۱۸



شکل ۱- تأثیر افزایش زمان پخت بر بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها

می‌دهد که با افزایش میزان قلیائیت مؤثر عدد کاپای خمیر کاغذها کاهش یافت که اختلاف کاهش آن‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد. در این تحقیق کاهش عدد کاپای خمیر کاغذها با افزایش میزان قلیائیت مؤثر قابل توجه است که با نتایج Faezipour و همکاران (۲۰۰۰) و Fakhryan و همکاران (۲۰۰۴) مطابقت دارد [۱۶، ۸].

اثر متقابل قلیائیت فعال و زمان پخت بر بازده خمیر کاغذها نیز در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد. با استفاده از آزمون دانکن، میانگین بازده خمیر کاغذها تحت تأثیر متقابل زمان پخت و قلیائیت مؤثر در ۶ گروه مستقل قرار گرفت که نتایج آن را در جدول ۶ مشاهده می‌نمایید. نتایج بررسی آماری عدد کاپای خمیر کاغذها نشان

نیز بر عدد کاپای خمیرکاغذها در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد. بیشترین بازده و عدد کاپای خمیرکاغذها به ترتیب با ۶۹/۰۷٪ و ۸۴/۴۲ در شرایط پخت، قلیائیت مؤثر ۱۲٪ و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه و کمترین آن‌ها به ترتیب با ۴۱/۲۲٪ و ۳۲/۰۶ در شرایط پخت، قلیائیت مؤثر ۱۸٪ و زمان پخت ۱۸۰ دقیقه به دست آمدند (جدول ۶). بازده و عدد کاپای خمیرکاغذها در این تحقیق به طور متوسط در قلیائیت مؤثر ۱۸-۱۲ درصد به ترتیب بین ۶۹/۰۷-۴۰/۴۶ درصد و ۸۴/۴۲-۳۴/۰۶ به دست آمد (جدول ۴). Lewis و همکارش (۲۰۰۳)، بازده خمیرکاغذ سوزنی‌رگان در قلیائیت مؤثر ۱۹-۱۶ درصد را بین ۴۸-۴۴ درصد و عدد کاپای آن‌ها را بین ۲۸-۲۴ اندازه‌گیری کردند [۱۷]. اختلاف بازده و عدد کاپای این دو خمیرکاغذ به نوع گونه و عوامل متغیر پخت این دو خمیرکاغذ مربوط می‌شود.

بیشترین مقدار عدد کاپا با ۸۲/۷۱ مربوط به خمیرکاغذ تهیه‌شده در قلیائیت مؤثر ۱۲٪ و کمترین مقدار عدد کاپا با ۳۶/۹۲ مربوط به قلیائیت مؤثر ۱۸٪ است (جدول ۵). غلظت بیشتر یون هیدروکسید باعث افزایش سرعت واکنش‌های لیگنین‌زدایی و در نتیجه باعث کاهش عدد کاپا شده است. با افزایش زمان پخت نیز اختلاف عدد کاپای خمیرکاغذها در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد. با افزایش زمان پخت مدت تماس و نفوذ ماده شیمیایی به ساختار الیاف افزایش‌یافته و لیگنین بیشتری از الیاف خارج می‌شود. در فرآیند قلیایی انتخاب زمان پخت تحت تأثیر مقدار و غلظت قلیائیت مؤثر، سولفیدیت و درجه حرارت پخت قرار دارد. در یک بازده ثابت هرگونه افزایشی در یک یا چند متغیر اخیر، زمان پخت را کاهش می‌دهد، البته زیاد شدن هر یک از متغیرهای فوق تا حدودی امکان‌پذیر بوده و بعد از آن اثر آن کاهش‌یافته و یا اثر تخریبی دارند [۱۵]. اثر متقابل قلیائیت مؤثر و زمان پخت

جدول ۶- گروه‌بندی میانگین بازده و عدد کاپای خمیرکاغذها

زمان پخت (دقیقه)	قلیائیت مؤثر (درصد)	بازده		عدد کاپا
		گروه‌بندی (درصد)	مقدار گروه‌بندی	
۱۲۰	۱۲	(a) ۶۹/۰۷	(a) ۸۴/۴۲	(a)
۱۸۰	۱۲	(b) ۶۳/۵۵	(ab) ۸۲/۷۰	(ab)
۱۲۰	۱۴	(c) ۵۲/۲۶	(b) ۸۱/۰۱	(b)
۱۸۰	۱۴	(d) ۵۰/۵۷	(c) ۷۲/۰۷	(c)
۱۲۰	۱۶	(e) ۴۵/۶۲	(d) ۵۴/۱۶	(d)
۱۸۰	۱۶	(f) ۴۱/۴۸	(d) ۵۱/۸۲	(d)
۱۸۰	۱۸	(f) ۴۱/۲۲	(e) ۳۹/۷۷	(e)
۱۲۰	۱۸	(f) ۴۰/۴۶	(f) ۳۴/۰۶	(f)

۱۸٪  $mNm^2/g$  ۹۳/۱۱ اندازه‌گیری شد و اختلاف آن‌ها در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد (جدول ۸). مقاومت به پاره‌شدن کاغذ به طول الیاف، ضخامت دیواره سلولی الیاف و مقدار پیوندهای موجود بین الیاف وابسته است. با افزایش قلیائیت مؤثر واکنش لیگنین‌زدایی و خروج هر چه بیشتر لیگنین از ساختار الیاف خمیرکاغذ انجام‌گرفته، انعطاف‌پذیری الیاف افزایش‌یافته و در نتیجه‌ی پالایش پذیری و فیبریل‌شدن بهتر، ظرفیت پیوندیابی الیاف نیز افزایش‌یافته است. مقاومت در برابر پاره شدن خمیرکاغذ

## مقاومت کاغذهای دست‌ساز

### مقاومت در برابر پاره‌شدن

در جدول ۷ نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت در برابر پارگی و در جدول ۸ گروه‌بندی مقاومت در برابر پارگی کاغذهای دست‌ساز تحت تأثیر تغییرات قلیائیت مؤثر نشان داده شده است. میانگین مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای دست‌ساز (با ۵ تکرار) برای خمیرکاغذهای تهیه‌شده در قلیائیت مؤثر ۱۲٪  $mNm^2/g$  ۳۸۲/۸، در قلیائیت مؤثر ۱۴٪  $mNm^2/g$  ۱۰/۹۲ و در قلیائیت مؤثر



قلیائیت مؤثر ۱۸ درصد  $11/23 \text{ mNm}^2/\text{g}$  اندازه‌گیری شد [۱۸] که با نتایج اندازه‌گیری مقاومت به پاره شدن کاغذهای دست‌ساز در این تحقیق مطابقت دارد.

کاج الداریکای زاغمرز  $8/52 \text{ mNm}^2/\text{g}$  و خمیرکاغذ وارداتی  $10 \text{ mNm}^2/\text{g}$  [۷] و مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای دست‌ساز چوب درخت نوئل کلاردشت در

جدول ۷- میانگین نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای کریپتومریا

تعداد تاه‌خوردگی	مقاومت در برابر پاره‌شدن ( $\text{mNm}^2/\text{g}$ )	طول پاره‌شدن (Km)	مقاومت در برابر ترکیدن ( $\text{Kpam}^2/\text{g}$ )	قلیائیت مؤثر (درصد)
۱۷۸۹	۸/۳۸	۷/۳۶	۴/۸۷	۱۲
۱۸۹۹	۱۰/۹۲	۷/۱۷	۴/۹۳	۱۴
۳۲۴۱	۱۱/۹۳	۹/۱۴	۶/۱۹	۱۸

جدول ۸- گروه‌بندی میانگین مقاومت در برابر پاره‌شدن کاغذها

شماره	قلیائیت مؤثر (درصد)	مقاومت در برابر پاره‌شدن $\text{mNm}^2/\text{g}$	گروه‌بندی
۱	۱۸	۱۱/۹۳	(a)
۲	۱۴	۱۰/۹۲	(b)
۳	۱۲	۸/۳۸	(c)

#### تعداد تاه‌خوردگی

در جدول ۷ نتایج حاصل از اندازه‌گیری تعداد تاه‌خوردگی کاغذهای دست‌ساز و در جدول ۹ گروه‌بندی تعداد تاه‌خوردگی کاغذها نشان داده شده است. تعداد تاه‌خوردگی، مسئله دوام یا مقاومت به فرسودگی در طی زمان طولانی، مثلاً در مورد کاغذهای اسکناس و بهادار را نشان می‌دهد [۱۹]. در این تحقیق، تعداد تاه‌خوردگی کاغذهای دست‌ساز تهیه‌شده از خمیرکاغذ در شرایط قلیائیت مؤثر ۱۲٪ به‌طور متوسط ۱۷۸۹، در قلیائیت مؤثر ۱۴ درصد ۱۸۹۹ و در قلیائیت مؤثر ۱۸ درصد ۳۲۴۱ اندازه‌گیری شد که اختلاف نتایج اندازه‌گیری شده تعداد تاه‌شدن کاغذها در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شده است و به‌ترتیب در گروه‌های a، b و c قرار می‌گیرند (جدول ۱۰). دوام تاه‌خوردگی به طول الیاف، میزان پالایش و انعطاف‌پذیری الیاف بستگی دارد. با افزایش میزان قلیائیت مؤثر لیگنین بیشتری از خمیرکاغذ خارج‌شده، در نتیجه الیاف نرم‌تر و پالایش‌پذیری آن‌ها بهبود می‌یابد.

#### مقاومت در برابر ترکیدن

در جدول ۷ نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت در برابر ترکیدن و در جدول ۱۰ گروه‌بندی مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای دست‌ساز تحت تأثیر قلیائیت مؤثر آورده شده است. با افزایش قلیائیت مؤثر مقاومت در برابر ترکیدن کاغذها افزایش یافت به‌طوری‌که اختلاف افزایش مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای دست‌ساز در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شد (جدول ۱۰). میانگین مقاومت در برابر ترکیدن خمیرکاغذ در قلیائیت مؤثر ۱۲ درصد  $4/87 \text{ Kpam}^2/\text{g}$ ، در قلیائیت مؤثر ۱۴ درصد  $6/19 \text{ Kpam}^2/\text{g}$  و در قلیائیت مؤثر ۱۸ درصد  $4/93$  به‌دست آمد. با افزایش میزان قلیائیت مؤثر با انحلال لیگنین بیشتر از خمیرکاغذ، الیاف نرم‌تر و پالایش‌پذیری و در نتیجه مقاومت در برابر ترکیدن کاغذها افزایش می‌یابد. Golbabaei و همکاران (۱۹۹۸) مقاومت در برابر ترکیدگی کاغذ وارداتی را  $5/43 \text{ Kpam}^2/\text{g}$ ، کاغذ کاج الداریکا را  $4/615 \text{ Kpam}^2/\text{g}$  و کاغذ پهن‌برگان را  $6/637 \text{ Kpam}^2/\text{g}$  اندازه‌گیری کردند [۷].

جدول ۹- گروه‌بندی میانگین تعداد تاه خوردگی کاغذها

شماره	قلیائیت مؤثر (درصد)	تعداد تاه خوردگی	گروه‌بندی
۱	۱۶	۳۲۴۱	(a)
۲	۱۴	۱۸۹۹	(b)
۳	۱۲	۱۷۸۹	(c)

جدول ۱۰- گروه‌بندی میانگین مقاومت در برابر ترک‌کندن کاغذها

شماره	قلیائیت مؤثر (درصد)	مقاومت در برابر ترک‌کندن (KPam <sup>2</sup> /g)	گروه‌بندی
۱	۱۸	۶/۱۹	(a)
۲	۱۴	۴/۹۳	(b)
۳	۱۲	۴/۸۷	(c)

## طول پاره شدن

در جدول ۱۱ نتایج حاصل از گروه‌بندی طول پاره‌شدن کاغذها نشان داده شده است. میانگین طول پاره شدن کاغذها در قلیائیت مؤثر ۱۲ درصد ۷/۳۶ کیلومتر، در قلیائیت مؤثر ۱۴ درصد برابر ۷/۱۷ کیلومتر و در قلیائیت مؤثر ۱۸ درصد ۹/۱۴ کیلومتر اندازه‌گیری شد (جدول ۱۱). تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که با افزایش قلیائیت مؤثر از ۱۲٪ به ۱۸٪ طول پاره شدن کاغذها افزایش یافت که اختلاف این افزایش در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار شده است. Fakhryan (۲۰۰۳)

طول پاره شدن کاغذهای دست‌ساز چوب سوزنی‌برگ نوئل (پیسه آ آبیس) در زمان‌های پخت ۳۰،۶۰ و ۹۰ دقیقه را به ترتیب ۸/۴۳۳ کیلومتر، ۹/۳۸۷ کیلومتر و ۹/۹۳۳ کیلومتر اندازه‌گیری کرد [۸] که نزدیک بودن طول پاره شدن این دو خمیر کاغذ کرافت سوزنی‌برگ را نشان می‌دهد. افزایش خمیرزنی یا پالایش، افزایش پرس مرطوب، افزودن چسب خمیرزنی و ازدیاد مقدار الیاف طویل در خمیر کاغذ منجر به بهبود مقاومت کششی و طول پاره شدن می‌گردند [۲۰].

جدول ۱۱- گروه‌بندی میانگین طول پاره‌شدن کاغذها

شماره	قلیائیت مؤثر (درصد)	طول پاره شدن (Km)	گروه‌بندی
۱	۱۸	۹/۱۴	(a)
۳	۱۴	۷/۳۶	(b)
۲	۱۲	۷/۱۷	(c)

## نتیجه‌گیری

درخت کریپتومریا جزء درختان با جرم نسبی خیلی سبک به حساب می‌آید و طول تراکئیدهای این درخت به‌طور متوسط ۲/۹۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. میزان  $\alpha$  سلولز و لیگنین این درخت زیاد و به ترتیب ۴۸/۳۵ و ۳۲/۸٪ است. بازده خمیر کاغذها به‌طور متوسط ۵۰/۵۳٪

به دست آمد. با افزایش میزان قلیائیت مؤثر و یا افزایش زمان پخت بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها کاهش یافت، به طوری که بازده و عدد کاپای خمیر کاغذها در این تحقیق به‌طور متوسط در قلیائیت مؤثر ۱۲-۱۸ درصد به ترتیب بین ۴۰/۴۶-۶۹/۰۷ درصد و ۸۴/۴۲-۳۴/۰۶ به دست آمد (جدول ۴). در جریان واکنش پخت کرافت، کربوهیدرات‌ها به‌ویژه همی‌سلولزها و تا حدودی سلولز تحت تأثیر مواد

شیمیایی قرار گرفته و تاندازه‌ای حل می‌شوند. معمولاً در جریان یک پخت عادی تقریباً ۸۰٪ لیگنین، ۵۰٪ همی سلولزها و ۱۰٪ سلولز حل می‌شود [۲]. با افزایش قلیائیت مؤثر از ۱۲٪ به ۱۸٪ مقاومت کاغذها افزایش یافت که علت آن لیگنین زدایی بیشتر، پالایش پذیری بهتر الیاف و در نتیجه اتصال بهتر بین الیاف است. Golbabaei و همکاران (۱۹۹۸)، طول پارگی، مقاومت در برابر پاره شدن، مقاومت در برابر ترکیدن و تعداد تاه خوردگی خمیر کاغذ الیاف بلند وارداتی را به ترتیب ۹/۰۵۸ کیلومتر،

مقاومت‌ها را برای کاغذ کاج الداریکا به ترتیب ۱۰/۰۶۲ و ۱۶۱۶ کیلومتر، ۸/۵۲۵ و ۶/۶۷۳  $Kpam^2/g$  و ۵/۳۴۰ و ۱۳۰  $mNm^2/g$  اندازه‌گیری کردند [۷]. نتایج فوق‌الذکر نشان می‌دهد، مقاومت کاغذهای دست‌ساز گونه کریپتومریا در حد مقاومت‌های خمیر کاغذ الیاف بلند وارداتی است و این خمیر کاغذ می‌تواند به‌عنوان یک منبع لیگنوسلولزی مناسب، جایگزین خمیر کاغذ الیاف بلند وارداتی شود.

## مراجع

- [1] Afrabandpay, E., 2001. Properties of paper: An introduction (Translated), Publication of Agricultural Science. ISBN:964-6832-41-5, 153 p.
- [2] Foam., 2006. Food and agriculture organization (FAO) of the united nations, website Statistics.
- [3] Bodîrlău, R. and Teacă, C.A., 2008. Softwood chemical modification by reaction with organic anhydrides. *Revue Roumaine de Chimie*, 53(11): 1059-1064.
- [4] Faezipour, M., Hamzeh, Y. and Mirshokraii, S.A., 2000. Evaluation of Kenaf as a Raw Material in Pulp Production. *Iranian Journal Of Natural Resources*, 53(3): 241-249. (In Persian).
- [5] Fakhryan, A., Hosseinzadeh, A., Golbabaei, F. and Hosseinkhani, H., 2003, Investigation on delignification and pulping of Spruce (*Picea abies*). *Wood and Paper Science Research*, 18(2): 219-238.
- [6] Fengel, D. and Wegener, G., 1989. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlin, 613 p.
- [7] Franklin, G.L., 1954. A rapid method of softening wood for microtome sectioning. *Tropical Woods*, 88: 35-36.
- [8] Golbabaei, F., Jahan Latibari, A., Hosseinzadeh, A. and Nourbakhsh, A., 1998. Investigation on of kraft pulp from *Pinus eldarica*. *Iranian Journal of Wood and Paper Scienc Research*, 5:1-64.
- [9] Hosseini, S.Z., 2000. Fiber morphology in wood and pulp, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 288 p.
- [10] Jahan Latibari, A., Fakhryan Roghani, A., Kargarfard, A. and Golbabai, F., 1998. Properties of kraft pulp from Spruce wood grown in north of Iran, *Pajouhesh and Sazandegi*, 39: 59-64.
- [11] Jahan Latibari, A. and Hosseinzadeh, A., 1994. *Pulping technology: alkali pulping*, Islamic Republic of Iran, Ministry of Jihad-e-Sazandegi, Research Institute of Forest and Rengelands Press, 213 p.
- [12] HawFarn, L., YawFuh, H. and Hweig, W., 2000. Remove from marked records comprehensive evaluation on the relationship between mechanical pulping conditions and paper properties (II) chemithermomechanical pulp (CTMP), *Bulletin of National Pingtung University of Science and Technology*, 9(1): 21-32.
- [13] Shackford, L.D., 2003. A comparison of pulping and bleaching of kraft softwood and Eucalyptus pulp. 36<sup>th</sup> international pulp and paper congress and exhibition, October 13-16, Sao Paulo, Brazil.

- [14] Mirshokraei, S. A., 1997. Handbook for pulp and paper technologists. Payamenoor University Press, 454 p.
- [15] Mirshokraei, S.A. and Sadeghifar, H., 2002. The Chemistry of Paper, Ayizh Publications, 184 p.
- [16] Onodera, I., Kamijo, Y. and Miyanishi, T., 2003. Mechanical pulping of Cedar (*Cryptomeria japonica*), Japan TAPPI Journal, 57(11): 65-72.
- [17] Palmer, E.R. and Tabb, C.B., 1974. Production of pulp and paper from coniferous species grown in the tropics. Tropical Science, 10(2): 79-99.
- [18] Parsapajouh, D., 1984. Wood technology, University of Tehran Press, 370 p.
- [19] TAPPI test methods, 1992-1993. Fibrous material and pulp, paper and paperboard testing. TAPPI press, Atlanta, CA, USA.
- [20] Tutus, A., Cenk Ezici, A. and Ates, S., 2010. Chemical, morphological and anatomical properties and evaluation of cotton stalks (*Gossypium hirsutum* L.) in pulp industry, Scientific Research and Essays, 5(12): 1553-1560.
- [21] Uraki, Y. and Sano, Y., 1999. Remove from marked records polyhydric alcohol pulping at atmospheric pressure. *Holzforschung*, 53(4): 411-415.

## Investigation on the possibility of Manufacturing the Kraft pulp from *Criptomeria* wood

### Abstract

In this study chemical composition, fiber biometry, pulp and paper characteristics from *Criptomeria japonica* wood which has been planted in Gilan province (Pisseson region) were investigated. Mean values of specific gravity and basic density of wood were 0.376 and 0.338 gr/cm<sup>3</sup>, respectively. Also, fiber (tracheid) dimensions including fiber length, fiber diameter, lumen diameter and cell wall thickness were determined as 2920, 41.23, 32.57 and 4.41 μm, respectively. The chemical composition of *Criptomeria japonica* wood including α-cellulose, lignin, extractives and ash content were analyzed. On average, *Criptomeria japonica* wood has 48.35 % cellulose, 32.08% lignin, 0.988% ash and 5.64% extractives. The results of this investigation showed a total average pulp yield of 50.53%. With a 6% increase in effective alkali charge from 12% to 18%, pulps yield decreased at a confidence level of 99%. Breaking length of handsheets made at 12%, 14% and 18% effective alkali were 7.36, 7.17 and 9.14 km, respectively. It was also observed that burst strengths of handsheets made at 12%, 14% and 18% effective alkali were 4.87, 4.93 and 6.19 KPam<sup>2</sup>/g as well.

**Keywords:** *Cryptomeria Japonhca* wood, Kraft pulp, Pulp yield, Kappa number, Tear strength, Burst strength

**A. Fakhryan Roghani \***

Head of the Wood Chemistry and Papermaking Laboratories, Forest and Rangelands Research Institute, Karaj, Alborz

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

Received: 2012.11.25  
Accepted: 2014.12.03

