

## بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خمیر کاغذ کرافت تهیه شده از سرشاخه‌های چنار در منطقه جلگه آستارا

آرش فرج پور رودسری<sup>۱\*</sup> و شیما سهراب‌نژاد<sup>۲</sup>

(۱) استادیار گروه مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا، آستارا، ایران. \* رایانامه نویسنده مسئول: farajpoor.a@gmail.com

(۲) دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آستارا، آستارا، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۲۷

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی خصوصیات مکانیکی و فیزیکی کاغذهای تولید شده از سرشاخه‌های درخت چنار به‌عنوان یک منبع سلولزی انجام شده است. در این مطالعه از سرشاخه‌های درخت چنار منطقه جلگه آستارا و همچنین از فرآیند پخت کرافت استفاده شد. برای انجام فرآیند پخت از ماده شیمیایی سود سوزآور در سطح متغیر ۱۰، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد بر مبنای وزن خشک خرده‌چوب‌های درخت چنار استفاده شد. همچنین زمان پخت نیز در سه سطح زمانی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ دقیقه در نظر گرفته شد. درجه حرارت پخت و میزان سولفیدیت در همه حالت‌های پخت در یک سطح ثابت به‌ترتیب ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۵ درصد بود و نسبت مایع پخت به خرده‌چوب درخت چنار نیز بر مبنای استاندارد دایجستر آزمایشگاهی ۸ به ۱ بود. همچنین برای تهیه کاغذ دست‌ساز، خمیرها تا رسیدن به درجه روانی حدود  $25 \pm 350$  میلی‌لیتر پالایش شدند. از خمیر کاغذهای پالایش شده کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی تهیه و خواص مقاومتی و مکانیکی آنها اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز بر اساس آزمون فاکتوریل طرح کاملاً تصادفی و ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز از جدول تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای گروه‌بندی میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. خصوصیات مقاومتی خمیر کرافت تهیه شده شامل شاخص ترکیدن، شاخص کششی، شاخص تاخوردگی، شاخص پارگی و درجه روشنی به‌ترتیب برابر  $55/5$  (kPam<sup>2</sup>/g)،  $10082$  (N.m/g)،  $55$  (n)،  $53/6$  (mNm<sup>2</sup>/g) و  $32/53$  (%) بود.

واژه‌های کلیدی: آستارا، خمیر کاغذ کرافت، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی، سرشاخه‌های چنار، سلولز.

### مقدمه

مصرف چوب از یک‌سو، کمبود منابع سلولزی و جنگلی از سوی دیگر، محققان و پژوهشگران صنایع چوب و کاغذ را بر آن داشته است تا به مطالعه و پژوهش در مورد استفاده از گونه‌های مناسب آن بپردازند. این گونه‌ها بایستی علاوه بر سازگاری اقلیمی، ساختار مناسبی از لحاظ ترکیبات شیمیایی و ساختار الیاف برای تهیه خمیر کاغذ داشته باشند تا در صنعت کاغذسازی قابل استفاده باشند. البته بیشتر مقاومت‌های کاغذ ارتباط

مصرف جهانی چوب، فرآورده‌های چوبی و کاغذ به‌طور روزافزون در حال افزایش است که از دلایل این افزایش مصرف، می‌توان به رشد جمعیت، بالارفتن سطح سواد و آگاهی‌های عمومی، توسعه ارتباطات و پدیده صنعتی شدن کشورهای در حال توسعه اشاره کرد (Tutus et al., 2010). وابستگی بسیار زیاد انسان به چوب، فرآورده‌های چوبی و کاغذ و روند روزافزون

تنگاتنگی با طول الیاف به کار رفته در کاغذ دارند، به طوری که در میان گونه‌های چوبی، پهن‌برگان الیاف کوتاهی دارند، به این دلیل هرگاه کاغذی از الیاف پهن‌برگان ساخته می‌شود، نمی‌تواند مقاومت‌های مطلوب مورد نیاز را فراهم کند. به این منظور در بیشتر کارخانه‌ها، همواره درصدی از الیاف گونه سوزنی برگ با الیاف بلندتر به خمیر پهن‌برگان اضافه می‌شود. همچنین با افزایش جمعیت و با شناخت بیشتر نسبت به نقش جنگل در حفظ محیط‌زیست، بشر مجدداً به مواد لیگنوسولوزی غیرچوبی روی آورده است. امروزه خودکفایی در تولید محصولات کاغذی، یکی از اهداف مورد توجه دولت‌ها است.

درخت چنار از خانواده *Platanaceae* و با نام علمی *Platanus orientalis* و نام انگلیسی *Button Wood* است که جز درختان پهن‌برگ و خزان‌کننده نیمکره شمالی محسوب می‌گردد. از نظر گیاه‌شناسان، چنار گونه‌های متفاوتی دارد. در بین گونه‌های چنار، گونه *P. orientalis* تنها گونه‌ای است که به نظر، بومی ایران بوده است. گسترش جغرافیایی این گونه از جنوب شرقی اروپا تا مرکز ایران است و پایه‌های خودروی این گونه در مناطق مختلف کشور مشاهده شده است. چنار نوعی درخت بزرگ و زیبا با تنه مستقل، تاجی گسترده و شاخه‌های قوی است. این ویژگی‌های درخت چنار باعث شده است تا چنار در رده مهم‌ترین درخت‌های سایه‌دار پارک‌ها و حاشیه خیابان‌ها قرار گیرد. معمولاً ارتفاع درختان چنار در گونه‌های مختلف متفاوت است، چنانچه در گونه *P. orientalis* به ۳۰ متر و در *P. occidentalis* به ۴۰ متر هم می‌رسد. قطر تنه درخت چنار نیز زیاد است و گاه در تمام گونه‌های آن به بیش از ۱۰ متر می‌رسد. ساقه و تنه درخت چنار استوانه‌ای و نسبتاً پرچوب است. شاخه‌های درخت چنار معمولاً از ارتفاع مشخصی از تنه منشعب می‌شوند و تاج درخت را تشکیل می‌دهند. درحالی‌که ساقه درختان شاخه‌زاد چنار

معمولاً باریک، بلند و گاه کج و معوج هستند و با بالا رفتن سن درخت تنه‌اش صاف می‌گردد. شاخه‌های اصلی درخت چنار بسیار قطور و محکم هستند و در جهات مختلف می‌رویند و در مجموع تاج درخت چنار را به وجود می‌آورند. شاخه‌های فرعی نیز به صورت نامنظم از شاخه‌های اصلی منشعب می‌گردند (شریفی‌نیا، ۱۳۷۲).

رسالتی و رشیدی (۱۳۸۵) تولید خمیر کاغذ کرافت رنگبری شده از چوب اکالیپتوس را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش امکان تهیه خمیر کاغذ کرافت از این گونه با دمای پخت ۱۶۰ و ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت ۵ برای L:W و سولفیدیت ۲۵ درصد به‌عنوان عوامل ثابت و زمان‌های پخت ۱/۵، ۲، ۳ و ۳/۵ ساعت و قلیائیت فعال ۱۸، ۱۹ و ۲۲ درصد به‌عنوان عوامل متغیر بررسی شدند. با توجه به دستیابی به بازده ۴۰/۰۲ درصد و عدد کاپای ۳۰/۴۵، پخت با زمان ۳ ساعت و قلیائیت فعال ۱۹ و دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان بهترین حالت تولید خمیر برگزیده شد. رنگبری خمیر کرافت اکالیپتوس با اکسیژن انجام شد و روشنی از ۱۵ درصد به ۶۷/۸۹ درصد رسید که شفافیت مناسبی برای کاغذ روزنامه بود. برای انجام مطالعه‌های درجات روانی دارای درجه روانی ۴۰۰ CSF، ۴۵۰ و ۵۰۰ میلی‌لیتر مبنای کار قرار گرفتند که با توجه به نتایج تجزیه واریانس، کاغذ حاصل از خمیر ۴۰۰، دارای خصوصیات مقاومتی مطلوب‌تری بود.

فخریان‌روغنی و همکاران (۱۳۸۰) ویژگی‌های خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس میکروتکای ممسنی (فارس) را مورد بررسی قرار دادند. با شرایط ثابت سولفیدیتی ۲۵ درصد و درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و قلیائیت موثر بین ۱۸-۱۰ درصد، بازده خمیر کاغذ بین ۵۳/۳-۳۶/۴ درصد و عدد کاپای آنها بین ۲۱/۷-۸۷/۴ به‌دست آمد. مقادیر طول پاره شدن، شاخص مقاومت به پاره شدن و شاخص مقاومت به ترکیدن به ترتیب برابر ۶/۹-۵/۴، ۱۱-۸/۲ و ۳/۹۶-۴/۸۴ km به‌دست آمد. به‌طور

کلی نتایج به دست آمده نشان داد که خمیر کاغذ کرافت این گونه از ویژگی‌های کاغذ مناسبی برخوردار است.

قاسمیان و همکاران (۱۳۹۰) ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری نشده اکالیپتوس میکروتکا (*Eucalyptus microtheca*) ایران‌شهر را مورد بررسی قرار دادند. ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری آنها شامل وزن پایه، ضخامت، دانسیته حجمی، مقاومت کششی، مقاومت به پاره شدن، مقاومت به ترکیدن، درجه روشنی و ماتی اندازه‌گیری شد. برای تعیین بهترین تیمار آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذهای دست‌ساز از روش امتیازدهی بر اساس محاسبه نرمال‌سازی استفاده شد. ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیر کاغذ کرافت حاصل از بهترین تیمار آزمایشی به شرح شاخص مقاومت کششی  $5/68 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ، شاخص مقاومت به پاره شدن  $2/95 \text{ kPam}^2/\text{g}$ ، درجه روشنی  $17/77$  درصد و ماتی  $98/57$  درصد تعیین گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری نشده این گونه در منطقه ایران‌شهر از ویژگی‌های مکانیکی و نوری مناسب برای تولید کاغذ بسته‌بندی برخوردار بوده است.

قاسمی و سرانیان (۱۳۸۹) کارآیی لیگنین‌زدایی و بازده خمیر کاغذ کرافت و سودای برون چوب و درون چوب صنوبر دلتوئیدس را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به کمبود و محدودیت منابع چوبی در ایران گونه‌هایی که سریع‌الرشد بوده و مناسب تهیه خمیر کاغذ هستند، اهمیت ویژه‌ای دارند. صنوبر نیز از جمله گونه‌های سریع‌الرشد و بومی ایران است که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی تحت فرآیندهای پخت (*Populus deltoides*) مقایسه بازده خمیر کاغذ تهیه شده از درون چوب و برون چوب صنوبر دلتوئیدس کرافت و سودا نشان داد که در هر دو روش

پخت، درون چوب نسبت به برون چوب دارای بازده کمتری بوده است. همچنین بازده خمیر کاغذهای برون چوب و درون چوب در پخت سودا نسبت به پخت کرافت در حدود چهار درصد بیشتر بوده است. مقایسه میزان عدد کاپا در خمیر کاغذهای حاصل نشان می‌دهد که بازده خمیر کاغذ درون چوب نسبت به برون چوب در هر دو پخت کمتر و میزان لیگنین باقی‌مانده بیشتر بوده است. همچنین میزان عدد کاپا در پخت کرافت نسبت به پخت سودا در حدود ۳۴ درصد کاهش داشته است. با توجه به یکسان بودن شرایط فرآیندی، کارآیی بیشتر عمل لیگنین‌زدایی در فرآیند کرافت مربوط به ترکیب مایع پخت و در اصل حضور سولفید سدیم در مایع پخت می‌باشد.

Khristova و همکاران (۲۰۰۶) ویژگی‌های خمیر کاغذ حاصل از روش‌های مختلف قلیایی چهار گونه اکالیپتوس، از جمله اکالیپتوس میکروتکا کاشته شده در کشور سودان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ترکیبات شیمیایی اکالیپتوس میکروتکا ۸ و ۱۰ ساله سودان به ترتیب بدین شرح گزارش شد: سلولز  $42/3$  و  $3/8$  درصد، لیگنین  $20/7$  و  $20/3$  درصد، مواد استخراجی محلول در الکل-بنزن  $4/8$  و  $3/8$  درصد، مواد استخراجی محلول در قلیا  $15/8$  و  $13/2$  درصد، مواد استخراجی محلول در آب گرم  $7$  و  $5/4$  درصد و خاکستر  $0/7$  و  $0/6$  درصد. مقدار شاخص مقاومت پاره شدن کاغذهای حاصل  $8/7 \text{ mNm}^2/\text{g}$  و  $7/2$ ، شاخص مقاومت به ترکیدن  $4/9 \text{ kPam}^2/\text{g}$  و  $4/3$ ، شاخص مقاومت کششی  $73/1 \text{ N.m/g}$  و  $66/1$ ، درجه روشنی  $23/5$  درصد و دانسیته ظاهری  $0/77 \text{ g/cm}^3$  و  $0/72$ ، به دست آمد.

گلبابایی و همکاران (۱۳۷۶) میانگین کلی طول الیاف، قطر الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی چوب الداریکا را به ترتیب  $3/37$  میلی‌متر،  $51/57$  میکرون،  $37/21$  میکرون و  $6/72$  میکرون اندازه‌گیری

کرد. وی اظهار داشت که با تغییر دو عامل ارتفاع در درخت و فاصله از مغز، طول الیاف افزایش یافته و ضخامت دیواره نیز با افزایش ارتفاع درخت افزایش و با افزایش فاصله از مغز کاهش می‌یابد. جرم مخصوص خشک و بحرانی این درخت به ترتیب ۰/۳۸۳، ۰/۳۹۶ و میزان سلولز آن برابر ۵۲/۰۴ درصد، لیگنین ۲۴/۹۵ درصد، مواد استخراجی ۶/۹۳ درصد و خاکستر ۰/۴۸ درصد اندازه‌گیری شدند.

رشیدی (۱۳۸۰) تولید خمیر کاغذ کرافت اکالیپتوس کاملودلونسیس و قابلیت جایگزینی آن با خمیر الیاف بلند وارداتی را مورد بررسی قرار داد و ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز حاصل از آن را به این صورت گزارش نمود: شاخص مقاومت به پاره شدن  $6/32 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ، شاخص مقاومت کششی  $49/13 \text{ N.m/g}$ ، شاخص مقاومت به ترکیدن  $3/16 \text{ kPam}^2/\text{g}$ ، طول پارگی  $5/03 \text{ mNm}^2/\text{g}$  و همچنین مقادیر درجه روشنی و ماتی نیز به ترتیب معادل  $67/33$  و  $91/8$  به دست آمد.

حسینخانی و همکاران (۱۳۹۳) کارایی لیگنین‌زدایی و بازده خمیر کاغذ کرافت و سودای چوب سیاه بید (*Salix nigra*) را مورد بررسی قرار دادند. در رابطه با شرایط پخت خمیر کاغذ کرافت درجه حرارت  $170$  درجه سانتی‌گراد، سولفیدیت  $25$  درصد و زمان پخت  $1$  و  $2$  ساعت انتخاب گردید. همچنین شرایط پخت خمیر کاغذ سودا شامل درصد قلیابیت فعال و سودسوزآور  $18$ ،  $20$  و  $22$  درصد انتخاب شد. خمیر کاغذها با درصد اختلاف  $100$ ،  $50$  و  $25$  درصد سیاه بید و مخلوط پهن-برگان شمال کشور تهیه شدند. نتایج نشان داد که در فرآیند کرافت و سودا می‌توان با استفاده از پخت یک ساعته و سودسوزآور  $18$  درصد بیشترین راندمان را به دست آورد و کمترین راندمان مربوط به سودسوزآور  $22$  درصد و زمان پخت  $2$  ساعت بوده است. به منظور اندازه‌گیری خصوصیات کاغذ دست‌ساز خمیر کاغذهای انتخابی بعد از رساندن آنها به درجه روانی C.S.F ml

$360 \pm 60$ . کاغذهایی با گرماژ  $60$  گرم بر سانتی‌مترمربع تهیه و خواص مقاومتی آنها اندازه‌گیری شد. در کاغذهای تهیه شده به هر دو روش کلیه مقاومت‌ها از پخت  $2$  ساعت بیشتر از یک ساعت بودند. در پخت کرافت در قلیابیت فعال  $22$  درصد از  $18$  درصد بیشتر و در حالت تهیه کاغذ مقاومت‌های کاغذ خالص بید از اختلاف  $25$  درصد نیز بیشتر بوده است. اما در روش پخت سودا مقاومت به پارگی و تا شدن از سودسوزآور  $22$  درصد بیشترین مقدار را داشته است، اما در کل مقاومت به ترکیدن، تا شدن و طول پارگی کاغذ تهیه شده به روش کرافت از روش سودا بیشتر بوده و در گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل اول قرار گرفته‌اند. با این نتایج استفاده از روش کرافت در تهیه خمیر کاغذ از گونه بید مناسب‌تر است.

فخریان و همکاران (۱۳۸۹) لیگنین‌زدایی و کاغذسازی چوب صنوبر کوستانزو به روش کرافت را مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، ابعاد الیاف، خمیر کاغذ و کاغذسازی گونه صنوبر کوستانزو مورد پژوهش قرار گرفت. متوسط جرم ویژه خشک و بحرانی چوب به ترتیب  $0/39$  و  $0/36$  و میانگین طول الیاف، قطر الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی آن به  $1/14$  میلی‌متر،  $28/84$  میکرون و  $2/92$  میکرون اندازه‌گیری شد. میزان سلولز، لیگنین، خاکستر و مواد استخراجی چوب این درخت به ترتیب  $50/74$ ،  $19/18$ ،  $1/65$  و  $1/22$  درصد تعیین شد. به منظور پخت و تهیه خمیر کاغذ روش کرافت مورد استفاده قرار گرفت. بیشترین بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ صنوبر کوستانزو در زمان پخت  $1$  ساعت، درجه حرارت پخت  $150$  درجه سلسیوس و قلیابیت موثر  $12$  درصد به ترتیب با  $61/91$  و  $54/83$  درصد و کمترین بازده و عدد کاپا در زمان پخت  $3$  ساعت، درجه حرارت پخت  $170$  درجه سلسیوس و قلیابیت موثر  $16$  درصد به ترتیب با  $45/63$  درصد و  $13/42$  به دست آمد. طول پاره شدن

کاغذهای تهیه شده در زمان پخت ۳ ساعت با ۶۹۵۳ متر دارای بیشترین مقدار بوده و در گروه A قرار گرفت.

تحقیق مهدی‌آبادی و همکاران (۱۳۹۳) با هدف مطالعه ویژگی‌های بیومتری چوب چنار انجام شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تاثیر محور طولی در درختان چنار بر ابعاد الیاف (طول الیاف، قطر الیاف و قطره حفره) و تاثیر محور عرضی بر ضرایب بیومتری (ضریب انعطاف‌پذیری، ضریب رانکل و ضریب سفتی) در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارد. در مجموع می‌توان گفت هم ارتفاع درخت و هم محور عرضی آن بر خواص و ویژگی‌های چوب آن تاثیرگذار است. بیشترین میانگین طول الیاف ۱۵۹۲ میکرون در ارتفاع ۵۰ درصد درخت نزدیک پوست و کمترین آن ۱۲۰۰ میکرون در نزدیکی مغز ارتفاع برابر سینه مشاهده گردید که می‌تواند به دلیل وجود جوانه چوب در نزدیکی مغز باشد. به‌طور کلی طول الیاف چنار در بین پهن‌برگان، از میانگین بالایی برخوردار است. میزان طول الیاف یک ویژگی ذاتی در بین گونه‌های چوبی محسوب می‌شود که وابستگی شدیدی به سلول‌های کامبیومی دارد، به‌طوری که با افزایش سن درخت و سن فیزیولوژی سلول‌های کامبیوم، اندازه یاخته‌های مادری تکامل و افزایش می‌یابد، ولی قطر الیاف، قطر حفره سلولی و ضخامت دیواره سلولی بیشترین تابع عواملی چون شرایط آب و هوایی و میزان رویش سالیانه درخت می‌باشد.

Almalah و Altakai (۲۰۰۹) در پژوهشی با عنوان بررسی ویژگی‌های آناتومی و فیزیکی چوب درختان چنار در جنگل‌های غرب نینوا، دریافتند که به‌طور کلی طول و قطر الیاف با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. تاثیر جهت طول و عرض درخت بر طول الیاف، قطر الیاف، ضریب در هم رفتگی، ضریب رانکل و دانسیته خیلی معنی‌دار و قطر حفره غیرمعنی‌دار بود.

Uprichard و Gray (۱۹۷۳) وزن مخصوص درخت کاج رادیاتای کشور نیوزیلند را ۰/۳۷ گرم بر سانتی-مترمکعب و طول الیاف این درخت را بین ۲/۱-۳/۹ اندازه‌گیری کرد. در پخت کرافت بازده خمیر کاغذها ۴۷/۸ درصد و عدد کاپای آنها ۳۰ به‌دست آمد. در درجه روانی ۶۲۵ میلی‌لیتر مقاومت کششی، مقاومت در برابر ترکیدن و مقاومت در برابر پاره شدن کاغذها به ترتیب  $KN\ m^2/gr$  ۷/۴، کاپا  $m^2/gr$  ۸۹،  $mNm^2/gr$  ۱۴/۳ به‌دست آمد.

این پژوهش با هدف بررسی خصوصیات مکانیکی و فیزیکی کاغذهای تولید شده از سرشاخه‌های درخت چنار منطقه جلگه آستارا به‌عنوان ماده اولیه سلولزی مناسب برای تولید خمیر کاغذ کرافت مورد بررسی قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خمیر کاغذ کرافت تهیه شده از سرشاخه‌های چنار در منطقه جلگه آستارا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی عبارت بودند از درصد قلیائیت در ۵ سطح و زمان پخت که در سه سطح اجرا گردید. نمونه‌برداری از سرشاخه‌های درخت چنار از منطقه جلگه آستارا واقع در استان گیلان انجام گرفت. زواید سرشاخه‌های درخت چنار جمع‌آوری شده، شامل برگ‌ها را پاک کرده و بعد از پوست‌کنی، سرشاخه‌ها توسط خردکن کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا) خرد شده و با استفاده از غربال صنعتی، خرده‌چوب مورد قبول با طول ۱-۳ سانتی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر جداسازی و بعد از شست‌وشو و خشک شدن در هوای آزاد تعیین رطوبت گردید و در کیسه نایلونی ذخیره و نگهداری شد. مقدار ۱۵۰ گرم خرده‌چوب بر مبنای وزن خشک ماده اولیه برای هر پخت خمیر کاغذ به دیگ پخت ریخته شد،

سپس محلول پخت با درصد قلیابیت‌های مختلف تهیه گردید.

### پخت خمیر کاغذ

برای پخت و تهیه خمیر کاغذ از روش کرافت (سولفات) استفاده شد. پس از انجام پخت‌های آزمایشی، عوامل ثابت و متغیر پخت به شرح زیر در نظر گرفته شد. NAOH: ۱۰، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد؛ زمان پخت (دقیقه): ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ دقیقه؛ نسبت مایع پخت به ماده اولیه (L/W): ۸/۱؛ دمای پخت: ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد و سولفیدیت: ۲۵ درصد بر مبنای وزن خشک.

ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی و نوری کاغذ دست-ساز بر اساس دستورالعمل‌های مربوطه در آیین‌نامه تاپی به شرح زیر اندازه‌گیری شدند:

- ۱- کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی: بر اساس آیین‌نامه شماره ۰۰۶-SP ۲۰ T استاندارد TAPPI؛
- ۲- اندازه‌گیری مقاومت به پاره شدن: بر اساس آیین‌نامه شماره ۸۸-om ۴۹۴ T استاندارد TAPPI؛
- ۳- اندازه‌گیری مقاومت به ترکیدن: بر اساس آیین‌نامه شماره ۰۰۲-om ۴۰۳ T استاندارد TAPPI؛
- ۴- اندازه‌گیری مقاومت به کشش: بر اساس آیین‌نامه شماره ۰۰۶-om ۴۹۴ T استاندارد TAPPI؛
- ۵- اندازه‌گیری مقاومت در برابر تاخوردگی: بر اساس آیین‌نامه شماره ۹۶-om ۵۱۱ T استاندارد TAPPI؛
- ۶- اندازه‌گیری میزان روشنی کاغذ: بر اساس آیین‌نامه شماره ۰۸-om ۴۵۲ T استاندارد TAPPI؛
- ۷- اندازه‌گیری عدد کاپای خمیرکاغذ: بر اساس آیین‌نامه شماره ۹۹-om ۲۳۶ T استاندارد TAPPI.

در این پژوهش از سرشاخه‌های درخت چنار در غالب ۹ تیمار استفاده شد و تاثیر متقابل قلیابیت فعال و زمان پخت بر بازده، عدد کاپا و ویژگی‌های مقاومتی کاغذ از جمله روشنی، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به کشش، مقاومت به تاخوردگی و مقاومت به پارگی مورد

بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از ۹ پخت اصلی و ۴ پخت جایگزین استفاده شد. قابل ذکر است زمانی که برای پخت نمونه‌ها از زمان پخت ۱۰۰ دقیقه استفاده شد، در هیچ یک از قلیابیت فعال ۱۶، ۱۸ و ۲۰ درصد خمیر مناسب برای تولید کاغذ به دست نیامد و این حالت در زمان پخت ۸۰ دقیقه و قلیابیت فعال ۲۰ درصد نیز مشاهده شد. بنابراین از ۱۰ و ۱۴ درصد قلیابیت فعال، به‌عنوان جایگزین استفاده شد که خمیر قابل قبولی نیز تولید نمود.

با توجه به اینکه برخی از تیمارهای مورد بررسی دارای کیفیت کافی برای اندازه‌گیری خصوصیات مورد مطالعه نبودند، بنابراین امکان تجزیه به‌صورت فاکتوریل مقدور نبود و تجزیه به صورت طرح کاملاً تصادفی برای ترکیب‌های تیماری حاصل برای هر یک از خصوصیات مورد بررسی به صورت مجزا انجام شد. سپس به‌منظور بررسی و مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده گردید. برای این منظور از نرم‌افزار SPSS جهت آنالیز داده‌ها استفاده شد. همچنین برای انجام برخی محاسبات و نیز رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel بهره برده شد.

### نتایج

#### ویژگی‌های مکانیکی

مقادیر میانگین شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به پاره شدن و شاخص مقاومت به ترکیدن، شاخص مقاومت به تاشدگی کاغذهای دست‌ساز به-ترتیب در شکل‌های ۱ تا ۴ دیده ارایه شده است. نتایج آزمون تجزیه و واریانس ویژگی‌های یاد شده نیز به‌ترتیب در جدول‌های ۱ تا ۴ آورده شده‌اند.

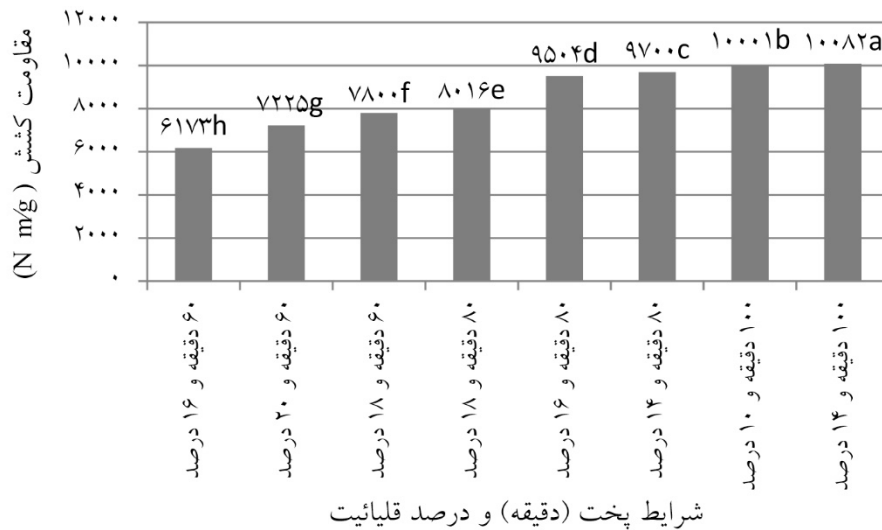
بر اساس نتایج تجزیه واریانس بین تیمارهای مورد بررسی، از لحاظ مقاومت کششی نیز در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱) و بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن شرایط پخت ۱۰۰ دقیقه با ۱۴ درصد قلیابیت در گروه اول قرار گرفت که

دارای بیشترین مقاومت کششی بود. کمترین میزان داشت (شکل ۱).  
مقاومت کششی به تیمار ۶۰ دقیقه و ۱۶ درصد اختصاص

جدول ۱. تجزیه واریانس مقاومت کششی

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value	Pr>F
تیمار	۷	۴۴۸۰۹۴۸۰/۵۹۰	۶۴۰۱۳۵۴/۳۷۰**	۱۰۸۷۴۱/۰۰۰	</۰۰۰۱
اشتباه آزمایشی	۱۶	۹۴/۱۶۰	۵/۸۸۰		
ضریب تغییرات (%)		۰/۰۲۸			

\* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و <sup>ns</sup> به منزله عدم وجود اختلاف معنی دار است.



شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت

شکل ۱. نمودار اثر شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت بر مقاومت به کشش

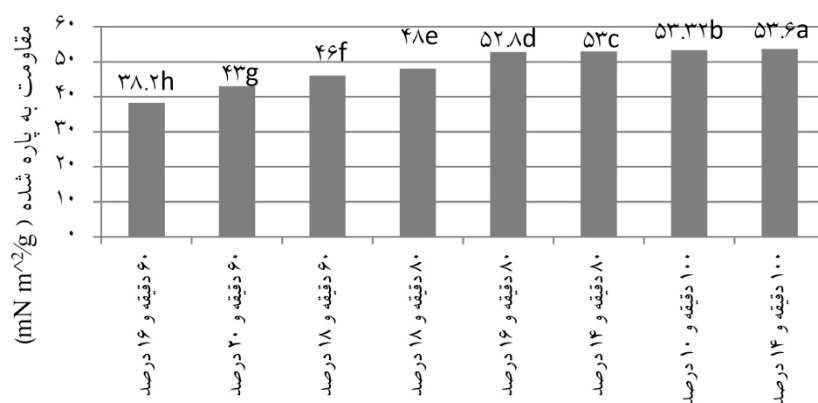
شرایط پخت ۸۰ دقیقه با ۱۶ و ۱۸ درصد، در گروه اول قرار گرفت که دارای بیشترین مقاومت به پاره شدن بودند و تیمار ۶۰ دقیقه و ۱۶ درصد قلیائیت کمترین میزان مقاومت به پاره شدن را داشت (شکل ۲).

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس بین تیمارهای مورد بررسی، از لحاظ مقاومت به پاره شدن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۲) و بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن شرایط پخت ۱۰۰ دقیقه و ۱۰ و ۱۴ درصد قلیائیت و

جدول ۲. تجزیه واریانس مقاومت به پاره شدن

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value	Pr>F
تیمار	۷	۶۹۲/۴۶۵	۹۸/۹۲۴**	۸۹/۷۳۰	</۰۰۰۱
اشتباه آزمایشی	۱۶	۱۷/۶۴۰	۱/۱۰۳		
ضریب تغییرات (%)		۷۱۰/۱۰۵			

\* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و <sup>ns</sup> به منزله عدم وجود اختلاف معنی دار است.



شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت

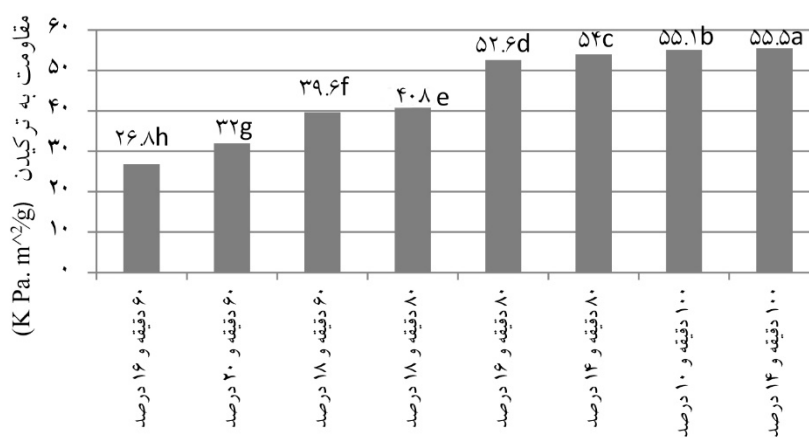
شکل ۲. نمودار اثر شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت بر مقاومت به پاره شدن

بین تیمارهای مورد بررسی، از لحاظ مقاومت به ترکیدن در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی دار وجود داشت (جدول ۳) و بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن شرایط پخت ۱۰۰ دقیقه و ۱۰ و ۱۴ درصد چنار، در شرایط پخت ۸۰ دقیقه با ۱۸ درصد چنار، در گروه اول قرار گرفت که دارای بیشترین مقاومت به ترکیدن بودند. تیمار شرایط پخت ۶۰ دقیقه و ۱۶ درصد کمترین میزان مقاومت به ترکیدن را داشت (شکل ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس مقاومت به ترکیدن

Pr > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
</0.001	۳۲۱/۱۶۰	۳۸۴/۱۸۹ <sup>oo</sup>	۲۶۸۹/۳۲۰	۷	تیمار
		۱/۱۹۶	۱۹/۱۴۰	۱۶	اشتباه آزمایشی
		۲/۴۵۵			ضریب تغییرات (%)

<sup>oo</sup> و <sup>o</sup> به ترتیب به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و <sup>ns</sup> به منزله عدم وجود اختلاف معنی دار است.



شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت

شکل ۳. نمودار اثر شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت بر مقاومت به ترکیدن



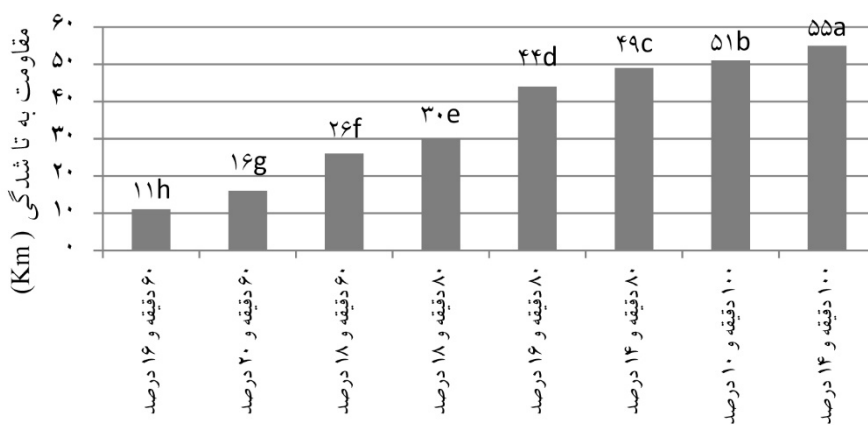
۱۰۰ دقیقه با ۱۴ درصد قلیائیت دارای بیشترین مقاومت به تاشدگی بود. کمترین میزان مقاومت به تاشدگی به تیمار ۶۰ دقیقه و ۱۶ درصد تعلق داشت (شکل ۴).

تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی، از لحاظ مقاومت به تاشدگی هم در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴) و بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن شرایط پخت

جدول ۴. تجزیه واریانس مقاومت به تاشدگی

Pr >F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
< / ۰.۰۰۱	۷۶۷/۹۳	۸۴۶/۶۴**	۵۹۲۶/۵۰	۷	تیمار
		۱/۱۰	۱۷/۶۴	۱۶	اشتباه آزمایشی
		۲/۹۸			ضریب تغییرات (%)

\* و \*\* به ترتیب به منزله اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و <sup>ns</sup> به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.



شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت

شکل ۴. نمودار اثر شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت بر مقاومت به تاشدگی

دقیقه و ۱۰ و ۱۴ درصد در گروه اول قرار گرفت و دارای بیشترین روشنی بودند. کمترین میزان روشنی به تیمار ۶۰ دقیقه و ۱۶ درصد قلیائیت کمترین میزان روشنی را داشتند (شکل ۵).

### ویژگی نوری

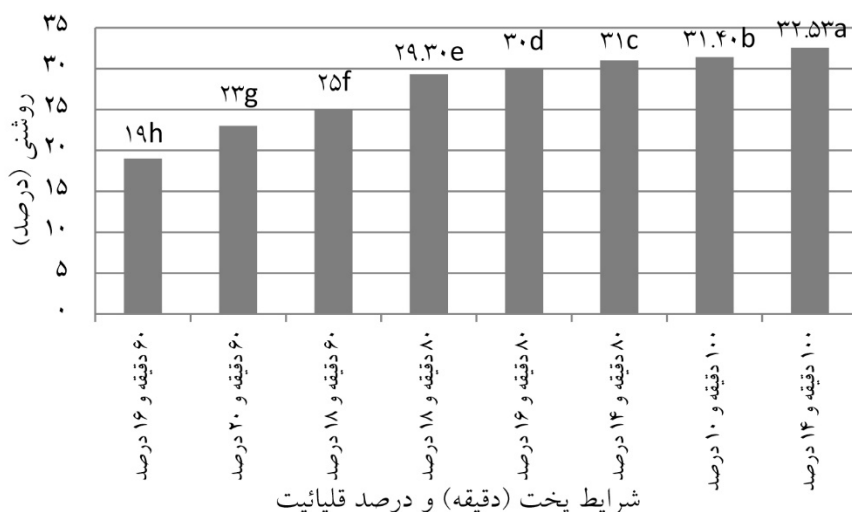
تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی، از لحاظ روشنی در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۵).

بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن شرایط پخت ۸۰ دقیقه با ۱۸ درصد قلیائیت، شرایط پخت ۱۰۰

جدول ۵. تجزیه واریانس روشنایی

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value	Pr > F
تیمار	۷	۴۸۲/۵۳۳	۶۸/۹۳۳ <sup>oo</sup>	۶۳/۲۵	</۰۰۰۱
اشتباه آزمایشی	۱۶	۱۷/۴۳۷	۱/۰۹۰		
ضریب تغییرات (%)			۳/۷۷۵		

<sup>oo</sup> و <sup>o</sup> به ترتیب به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و <sup>ns</sup> به منزله



شکل ۵. نمودار اثر شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت بر روشنایی

### راندمان

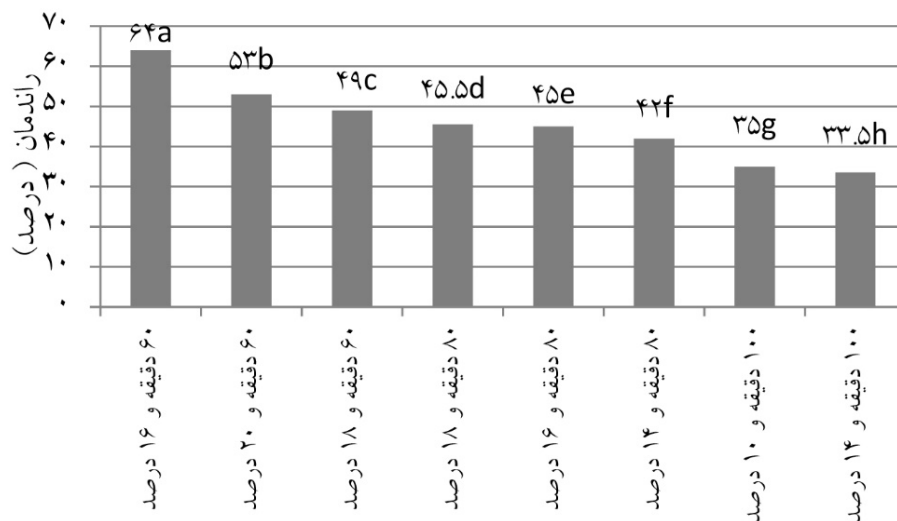
درصد قلیائیت در گروه اول قرار گرفت که دارای بیشترین راندمان بودند. تیمارهای شرایط پخت ۱۰۰ دقیقه و ۱۰ و ۱۴ درصد قلیائیت کمترین میزان روشنایی را داشتند (شکل ۶).

تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی، از لحاظ راندمان در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی دار وجود دارد (جدول ۶) و بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن شرایط پخت ۶۰ دقیقه و ۱۶

جدول ۶. تجزیه واریانس راندمان

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value	Pr > F
تیمار	۷	۲۰۲۹/۱۲۵	۲۸۹/۱۷۵ <sup>oo</sup>	۲۶۲/۹۳۰	</۰۰۰۱
اشتباه آزمایشی	۱۶	۱۷/۶۴۰	۱/۱۰۳		
ضریب تغییرات (%)			۲/۲۸۹		

<sup>oo</sup> و <sup>o</sup> به ترتیب به منزله اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و <sup>ns</sup> به منزله عدم وجود اختلاف معنی دار است.



شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت

شکل ۶. اثر شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت بر بازده

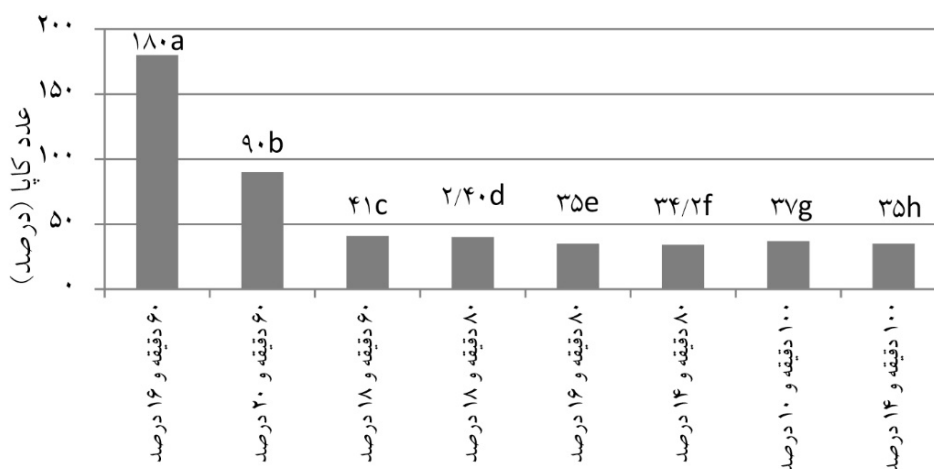
قلیائیت در گروه اول قرار گرفت که دارای بیشترین کاپا بودند. تیمارهای شرایط پخت ۱۰۰ دقیقه و ۱۴ درصد و ۸۰ دقیقه و ۱۶ و ۱۸ درصد قلیائیت کمترین میزان کاپا را به خود اختصاص داده بودند (شکل ۷).

#### عدد کاپا

تجزیه واریانس نشان داد که بین تیمارهای مورد بررسی، از لحاظ کاپا در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی دار وجود دارد (جدول ۷). بر اساس نتایج آزمون چنددامنه‌ای دانکن شرایط پخت ۶۰ دقیقه و ۱۶ درصد

جدول ۷. تجزیه واریانس کاپا

Pr > F	F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر
</0.001	۷۷۷۸/۳۶۰	۷۹۱۹/۳۴۰ <sup>oo</sup>	۵۵۴۳۵/۳۸۰	۷	تیمار
		۱/۰۱۸	۱۶/۲۹۰	۱۶	اشتباه آزمایشی
		۱/۶۳۹			ضریب تغییرات (%)



شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت

شکل ۷. اثر شرایط پخت (دقیقه) و درصد قلیائیت بر عدد کاپا

نیوزیلند مقاومت به کشش کاغذها را  $7/4 \text{ KN m}^2/\text{gr}$  گزارش کرد. درستان و همکاران (۱۳۹۱) کمترین مقاومت به کشش را  $35/23$  مربوط به تیمار با سولفیدیتته  $25$  درصد، قلیائیت  $20$  درصد و زمان پخت  $90$  دقیقه و کمترین مقاومت به کشش را  $65/62$  درصد مربوط به تیمار با سولفیدیتته  $28$  درصد، قلیائیت  $22$  درصد و زمان پخت  $120$  دقیقه گزارش کردند.

**مقاومت به پاره شدن:** با افزایش شدت قلیائیت فعال و زمان پخت، مقاومت به پارگی کاغذهای حاصل افزایش یافت. شاخص مقاومت به پاره شدن نیروی لازم برای پاره کردن یک قطعه کاغذ در شرایط مشخص تعریف می‌گردد. مقاومت در برابر پارگی، به میزان نواری شدن و درهم رفتگی الیاف و همچنین میزان پیوندهای هیدروژنی بین الیاف بستگی دارد، بنابراین با افزایش میزان قلیائیت و زمان پخت و نواری‌تر شدن الیاف به دلیل انحلال بیشتر لیگنین در دیواره سلولی انتظار می‌رفت که مقاومت در برابر پارگی افزایش یابد. از طرف دیگر، افزایش شدت قلیائیت فعال و زمان پخت، سرعت لیگنین‌زدایی را افزایش داده و مقدار لیگنین بیشتری از دیواره الیاف خارج شده و در نتیجه در پالایش عمل

#### بحث و نتیجه‌گیری

**مقاومت کششی:** با افزایش شدت قلیائیت فعال و زمان پخت، مقاومت به کشش کاغذهای حاصل افزایش یافت. مقاومت به کشش به میزان لیگنین خارج شده از دیواره الیاف بستگی دارد و زمانی که لیگنین بیشتری از دیواره الیاف خارج شود، انعطاف‌پذیری الیاف بیشتر می‌شود. بنابراین افزایش شدت قلیائیت فعال و زمان پخت، سرعت لیگنین‌زدایی را افزایش داده و مقدار لیگنین بیشتری از دیواره الیاف خارج شده و در نتیجه در پالایش عمل نواری شدن بهتر صورت گرفته و پیوندهای هیدروژنی موثر در مقاومت به کشش، بیشتر تشکیل گردیده و مقاومت به کشش کاغذ افزایش می‌یابد.

در این پژوهش پایین‌ترین مقاومت به کشش مربوط به پخت با قلیائیت  $16$  درصد و زمان  $60$  دقیقه بوده که معادل  $6173$  است. بیشترین مقاومت به کشش مربوط به پخت با قلیائیت  $14$  درصد و زمان پخت  $100$  دقیقه بوده که معادل  $1082$  می‌باشد.

این امر با پژوهش‌های صورت گرفته توسط Uprichard و Gray (۱۹۷۳) مطابقت نزدیکی دارد، به طوری که وی در پخت کرافت کاج رادیاتای کشور

صورت گرفته توسط Uprichard و Gray (۱۹۷۳) مطابقت نزدیکی دارد؛ به طوری که وی در پخت کرافت کاج رادیاتای کشور نیوزیلند مقاومت به ترکیدن کاغذها را  $۸۹ \text{ KPa m}^2/\text{gr}$  گزارش کرد. پژوهش حسینیخانی و همکاران (۱۳۹۳)، سیاه بید - روش کرافت - کمترین مقاومت به ترکیدن را  $۶۶$  مربوط به تیمار با سولفیدیت ۲۵ درصد، قلیابیت ۲۲ درصد و زمان پخت ۶۰ دقیقه و بیشترین مقاومت به ترکیدن را  $۷۰$  مربوط به تیمار با سولفیدیت ۲۵ درصد، قلیابیت ۲۲ درصد و زمان پخت  $۱۲۰$  دقیقه گزارش کردند.

**مقاومت به تاشدگی:** با افزایش شدت قلیابیت فعال و زمان پخت، مقاومت به تاخوردگی کاغذهای حاصل افزایش یافت. افزایش شدت قلیابیت فعال و زمان پخت، سرعت لیگنین‌زدایی را افزایش داد و مقدار لیگنین بیشتری از دیواره الیاف خارج شد و در نتیجه در پالایش، عمل نواری شدن بهتر صورت گرفت و پیوندهای هیدروژنی موثر در مقاومت به تاخوردگی، بیشتر تشکیل گردید و مقاومت به تاخوردگی کاغذ افزایش یافت. در این پژوهش پایین‌ترین مقاومت به تا خوردن مربوط به پخت با قلیابیت ۱۶ درصد و زمان ۶۰ دقیقه بوده است که معادل ۱۱ می‌باشد و بیشترین مقاومت به تا خوردن مربوط به پخت با قلیابیت ۱۴ درصد و زمان پخت ۱۰۰ دقیقه بوده است که معادل ۵۵ می‌باشد. فخریان و همکاران (۱۳۹۰) مقاومت به تاخوردگی کاغذهای کرافت حاصل از درخت سوزنی‌برگ سکویا سمپرویرنس را در زمان پخت ۳ ساعت  $۵۱۰۰$  و در زمان پخت ۲ ساعت  $۶۰۹۰$  گزارش کردند.

**ویژگی نوری:** با افزایش شدت قلیابیت فعال و زمان پخت، روشنی کاغذهای حاصل افزایش یافت. با افزایش شدت قلیابیت فعال و زمان پخت، مقدار نفوذ و جذب ماده شیمیایی در نمونه افزایش می‌یابد، بنابراین میزان لیگنین‌زدایی و همچنین میزان تخریب پلی‌ساکاریدها به

نواری شدن بهتر صورت گرفته و پیوندهای هیدروژنی موثر در مقاومت به پارگی، بیشتر تشکیل گردیده و مقاومت به پارگی کاغذ افزایش می‌یابد.

در این پژوهش پایین‌ترین مقاومت به پارگی مربوط به پخت با قلیابیت ۱۶ درصد و زمان ۶۰ دقیقه بوده است که معادل  $۳۸/۲$  می‌باشد و بیشترین مقاومت به پارگی مربوط به پخت با قلیابیت ۱۴ درصد و زمان پخت ۱۰۰ دقیقه بوده است که معادل  $۵۳/۶$  می‌باشد که با نتایج پژوهش‌های صورت گرفته توسط Uprichard و Gray (۱۹۷۳) اختلاف زیادی دارد، به طوری که وی در پخت کرافت کاج رادیاتای کشور نیوزیلند مقاومت به پارگی کاغذها را  $۱۴/۳ \text{ mNm}^2/\text{gr}$  گزارش کرد. همچنین فخریان و همکاران (۱۳۹۰) مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای کرافت حاصل از درخت سوزنی‌برگ سکویا را در زمان پخت ۳ ساعت  $۷/۲۷ \text{ KPa m}^2/\text{gr}$  و در زمان پخت ۲ ساعت  $۷/۲۳ \text{ KPa m}^2/\text{gr}$  گزارش کردند. همچنین وی در سال ۱۳۸۲ مقاومت در برابر ترکیدن کاغذهای پیسه‌آ آبیس در زمان پخت ۹۰ دقیقه را  $\text{KPa m}^2/\text{gr}$   $۵/۸۳$  گزارش کرد.

**مقاومت ترکیدن:** با افزایش شدت قلیابیت فعال و زمان پخت، مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصل افزایش یافت. مقاومت در برابر ترکیدن به میزان نواری شدن و درهم رفتگی الیاف و همچنین میزان پیوندهای هیدروژنی بین الیاف بستگی دارد، بنابراین با افزایش میزان قلیابیت و زمان پخت و نواری‌تر شدن الیاف به دلیل انحلال بیشتر لیگنین در دیواره سلولی انتظار می‌رفت که مقاومت در برابر ترکیدن افزایش یابد.

در این پژوهش پایین‌ترین مقاومت به ترکیدن مربوط به پخت با قلیابیت ۱۶ درصد و زمان ۶۰ دقیقه بوده که معادل  $۲۶/۸$  است و بیشترین مقاومت به ترکیدن مربوط به پخت با قلیابیت ۱۴ درصد و زمان پخت ۱۰۰ دقیقه بوده است که معادل  $۵۳/۶$  می‌باشد که با پژوهش‌های

پخت ۱۲۰ دقیقه گزارش کردند. Cromer و Dargaval (۱۹۷۳)، بازده کل و عدد کاپای خمیرکاغذی خوب رادیاتای ۱۰ ساله کشور استرالیا در درجه حرارت پخت ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد و سولفیدیت ۲۲ درصد را به ترتیب ۵۰ و ۳۵ درصد گزارش کردند.

**بازده:** با افزایش شدت قلیابیت فعال و زمان پخت از مقدار بازده خمیرکاغذهای حاصل کاسته شد. در مورد اثر قلیایی بر بازده می‌توان بیان نمود که با افزایش میزان قلیابیت (از ۱۶ به ۲۰ درصد) مقدار نفوذ و جذب ماده شیمیایی در نمونه افزایش می‌یابد. بنابراین میزان لیگنین-زدایی و همچنین میزان تخریب پلی‌ساکاریدها به‌ویژه همی‌سلولزها و سلولزها افزایش یافته و با خارج شدن لیگنین بیشتر از خمیر کاغذ، بازده خمیرها کاهش می‌یابد. در مورد اثر زمان بر بازده نیز می‌توان اذعان داشت که با افزایش زمان پخت (از ۶۰ به ۱۰۰ دقیقه)، سرعت و انتشار مواد شیمیایی به داخل نمونه چوبی افزایش یافته و پراکنش مواد شیمیایی بهتر و یکنواخت‌تر انجام شده و در نتیجه باعث کاهش بازده خواهد شد.

در این پژوهش بالاترین بازده مربوط به پخت با قلیابیت ۱۶ درصد و زمان ۶۰ دقیقه بوده است که معادل ۶۴ درصد می‌باشد و کمترین بازده مربوط به پخت با قلیابیت ۱۴ درصد و زمان پخت ۱۰۰ دقیقه بوده که معادل ۳۳/۵ درصد است که با پژوهش‌های صورت گرفته توسط Uprichard و Gray (۱۹۷۳) و Cromer و Dargaval (۱۹۷۳) مطابقت نزدیکی دارد، به‌طوری که Uprichard و Gray (۱۹۷۳) در پخت کرافت کاج رادیاتای کشور نیوزیلند بازده خمیرکاغذها را ۴۷/۸ درصد و Cromer و Dargaval (۱۹۷۳) بازده خمیرکاغذها را در درجه حرارت پخت ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد، ۱۷۷ درجه حرارت پخت ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد، ۱۳ تا ۱۵ درصد قلیابیت موثر و سولفیدیت ۲۲ درصد، ۵۰ درصد گزارش کردند. جهان‌لتیباری و همکاران (۱۳۷۶)، بازده خمیرکاغذهای چوب اکالپتوس

ویژه همی‌سلولزها و سلولزها افزایش یافته و با خارج شدن لیگنین بیشتر از خمیرکاغذ، روشنی کاغذهای حاصله افزایش می‌یابد. در این پژوهش پایین‌ترین روشنی مربوط به پخت با قلیابیت ۱۶ درصد و زمان ۶۰ دقیقه بوده که ۱۹ درصد است و بیشترین روشنی مربوط به پخت با قلیابیت ۱۴ درصد و زمان پخت ۱۰۰ دقیقه بوده است که معادل ۳۲/۵ درصد می‌باشد. پژوهش درستان و همکاران (۱۳۹۱)، ممرز - روش کرافت- کمترین روشنی را ۱۲/۳۸ مربوط به تیمار با سولفیدیت ۲۵ درصد، قلیابیت ۲۰ درصد و زمان پخت ۹۰ دقیقه و بیشترین مقاومت به پارگی را ۱۹/۸۸ درصد مربوط به تیمار با سولفیدیت ۲۸ درصد، قلیابیت ۲۲ درصد و زمان پخت ۱۲۰ دقیقه گزارش کردند.

**عدد کاپا:** با افزایش شدت قلیابیت فعال و زمان پخت، از مقدار عدد کاپای خمیرکاغذهای حاصل کاسته شد. این اختلاف کاهش در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. عدد کاپای خمیرکاغذ تهیه شده در زمان پخت ۶۰ دقیقه و قلیابیت ۱۶ درصد، ۱۸۰ و زمان پخت ۱۰۰ دقیقه و ۱۴ درصد و ۸۰ دقیقه و ۱۸ درصد به ترتیب با مقادیر ۳۵ و ۳۷ اندازه‌گیری شدند که با پژوهش‌های صورت گرفته توسط Uprichard و Gray (۱۹۷۳) و Cromer و Dargaval (۱۹۷۳) مطابقت نزدیکی داشت، به‌طوری که Uprichard و Gray (۱۹۷۳) در پخت کرافت کاج رادیاتای کشور نیوزیلند عدد کاپای خمیرکاغذها را ۳۰ و Cromer و Dargaval (۱۹۷۳) عدد کاپای خمیر کاغذها را در درجه حرارت پخت ۱۷۷ درجه سانتی‌گراد، ۱۳ تا ۱۵ درصد قلیابیت موثر و سولفیدیت ۲۲ درصد، ۳۵ درصد گزارش کردند. حسینخانی و همکاران (۱۳۹۳)، سیاه بید - روش کرافت- بالاترین عدد کاپا را ۶۸ مربوط به تیمار با سولفیدیت ۲۵ درصد، قلیابیت ۱۸ درصد و زمان پخت ۶۰ دقیقه و کمترین عدد کاپا را ۲۸ مربوط به تیمار با سولفیدیت ۲۵ درصد، قلیابیت ۲۲ درصد و زمان

*sequoia*). دو فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۶(۱): ۸۳-۹۷.

فخریان‌روغنی، ع.، حسین‌زاده، ع. و گلبابایی، ف. (۱۳۸۰) بررسی ویژگی‌های چوب اکالیپتوس میکروتکا برای کاغذسازی. موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، بخش تحقیقات علوم چوب و کاغذ، تهران، ۱(۱): ۴۳-۱۰۶.

قاسمی، س. و سرائیان، ا.ر. (۱۳۸۹) بررسی کارایی لیگنین‌زدایی و بازده خمیر کاغذ کرافت و سودای برون چوب و درون چوب صنوبر دلتوئیدس. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۵(۱): ۱۳۸-۱۴۶.

قاسمیان، ع.، سرائیان، ا. و لسان، ج. (۱۳۹۰) ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری نشده اکالیپتوس میکروتکا (*Eucalyptus microtheca*) ایرانشهر. مجله پژوهشی علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۸(۳): ۱۵-۳۰.

گلبابایی، ف.، لتیبیاری، ا. و نوربخش، ا. (۱۳۷۶) بررسی ویژگی‌های کاربردی خمیر کاغذ کرافت از چوب الدیریکا. دو فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۱۶(۱): ۶۵-۷۴.

مهدی‌آبادی، م.، تاجیک، م.، کرد، ب. و کرمانیان، ح. (۱۳۹۳) بررسی خواص بیومتری الیاف در چوب چنار، مطالعه موردی استان تهران. دومین همایش ملی فن‌آوری‌های نوین در صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران: ۳۲-۴۰.

Almalah, A.R. and Altakai, T.K. (2009) Studying the effect of anatomical and physical properties of *platanus occidentalis* L. wood growing in NINAVA. Grown Rivers Journal, 37(1): 140-147.

Cromer, R.N. and Dargaval, J.B. (1973) More pulp wood from less land. APPita, 31(1): 49-54.

Khristova, P., Kordsachia, O., Patt, R., and Daffala, S. (2006) Alkaline pulping of some Eucalyptus from Sudan. Bio Resources Technology, 97(4): 535-544.

Tutus, A., Ezici, A. and Ates, S. (2010) Chemical, morphological and anatomical properties and evolution of cotton stalk in pulp industry. Scientific Researchers Say, 5(12): 1553-1560.

Uprichard, G.M. and Gray, J.T. (1973) Paper making properties kraft pulps from New Zealand grown soft wood. Appatia, 27(3): 185-191.

کاملدولنسیس در قلیابیت موثر و سولفیدیت ۲۰ و ۲۵ درصد را به ترتیب ۳۶/۸۶ و ۳۶/۶۸ درصد و عدد کاپای آنها را به ترتیب ۲۴/۸۰ و ۲۲/۳۲ اندازه‌گیری کردند. با افزایش قلیابیت موثر از ۱۸ به ۲۰ درصد بازده خمیر کاغذها در سولفیدیت ۲۰ و ۲۵ درصد به ترتیب ۲۵/۰۴ و ۲۲/۲۰ اندازه‌گیری شدند.

## منابع

جهان‌لتیبیاری، ا.، حسین‌زاده، ع.، فخریان، ع. و قاسمیان، ع. (۱۳۷۶) بررسی خصوصیات کاغذسازی چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، شماره انتشار ۷۰-۱۳۶۹.

حسین‌خانی، ح.، کرمی، ل. و گلبابایی، ف. (۱۳۹۳) مقایسه کارایی لیگنین‌زدایی و بازده خمیر کاغذ کرافت و سودای چوب سیاه بید (*Salix Nigra*). فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۹(۲): ۳۲۴-۳۳۴.

درستان، ر.، ذبیح‌زاده، س.م. و نظرنژاد، ن. (۱۳۹۱) ارزیابی ویژگی‌های کاغذسازی گونه مرز با فرآیند کرافت، سودا و سودا-اوره. مجله چوب و کاغذ ایران، ۳(۲): ۱۰۵-۱۱۷.

رشیدی، م. (۱۳۸۰) بررسی تولید خمیر کاغذ کرافت از چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس و ارزیابی آن به جای خمیر الیاف بلند برای ساخت کاغذ روزنامه از خمیر CMP در چوب مازندران و صنعت کاغذ. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان.

رسالتی، ح. و رشیدی، م. (۱۳۸۵) بررسی تولید خمیر کاغذ کرافت رنگ‌بری شده از چوب اکالیپتوس کاملدولنسیس. نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۵۹(۳): ۶۹۳-۷۰۱.

شریفی‌نیا، م. (۱۳۷۲) چنار. سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر تهران، واحد آموزش و پژوهش، صفحه ۴۶.

فخریان، ع.، گلبابایی، ف. و برازنده، م. (۱۳۸۹) بررسی لیگنین‌زدایی و کاغذسازی چوب صنوبر کوستانزو (*Populus Costanzo*) به روش کرافت. دو فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۵(۲): ۱۵۷-۱۶۹.

فخریان، ع.، گلبابایی، ف. و برازنده، م. (۱۳۹۰) بررسی خصوصیات خمیر کاغذ کرافت سکویا سمپرویرنس (*Sempervirens*)

## **Kraft Pulp Investigation of the Mechanical and Physical Properties of Produced from Tree Branches: *Platanus orientalis* Plain Astara Region**

**Arash Farajpour Roudsar<sup>1\*</sup> and Shima Sohrab Nejad<sup>2</sup>**

- 1) Assistant Professor in Wood and Paper Technology Engineering, Islamic Azad University, Astara Branch, Astrara, Iran. \*Corresponding Author Email Address: farajpour.a@gmail.com
- 2) M. A. Student in Wood and Paper Technology Engineering, Islamic Azad University, Astara Branch, Astrara, Iran.

Date of submission: 2015/05/16      Date of Acceptance: 2016/11/29

### **Abstract**

The purpose of this study is to evaluate the physical and mechanical properties of papers made of tree branches as a cellulose source. The branches of the tree *Platanus orientalis* plain region of Astara and the Kraft pulping process used. For the process of chemical baking soda in varying levels 10, 14, 16, 18 and 20 percent based on the dry weight of plantain wood chips were used. Also the cooking time considered in three levels of 60, 80 and 100 minutes. Cooking temperature and the cooking sulfidity in all cases remained at a constant level of 165 degrees Celsius and 25 percent, respectively and Liquor ratio plantain chips are based on standard laboratory Digester 8 to 1. Also to make handmade paper, pulp freeness were refined to reach about  $25 \pm 350$  ml. 60 grams handmade paper were prepared of refined pulps and it's Resistance and mechanical properties were measured. Statistical analysis of features of handmade paper based on completely randomized design factorial test, and strength features of handmade paper of the ANOVA and Duncan's test was used to compare the average. Strength properties of the produced kraft pulp by the bursting index, tensile index, folding index, rupture index and brightness, were 55/5(Kpa cm<sup>2</sup>/g), 10082(Nm/g), 55(n), 53/6(mNm<sup>2</sup>/g) and 32/53(percent), respectively.

**Keywords:** Astara, Cellulose, Kraft pulp, Plane tree branches, Physical and mechanical properties.