

## بررسی اختلاط چوب صنوبر لرزان با دو گونه جنگلی بومی پهن برگ برای تولید خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی

مجتبی گلی<sup>۱\*</sup>، قاسم اسدیپور<sup>۲</sup>، سعید مهدوی<sup>۳</sup> و عبدالله بریمانی<sup>۴</sup>

۱- نویسنده مسئول، کارشناسی ارشد، صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
پست الکترونیک: goli.me2020@gmail.com

۲- استادیار، گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، کرج

۴- مدرس مدعو، کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه پیام نور، تهران

تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۳

### چکیده

به دلیل کمبود چوب، واردات آن به عنوان یک راهکار برای صنایع کاغذسازی ایران همواره مطرح بوده است. بنابراین در این تحقیق، تأثیر اختلاط چوب صنوبر لرزان وارداتی با دو گونه پهن برگ بومی شامل راش و ممرز بر ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی بررسی شد. شرایط ثابت پخت شامل درجه حرارت ۱۷۰ درجه سلسیوس، نسبت مایع پخت به چوب ۷ به ۱ و درصد ماده شیمیایی ۲۰ درصد بر مبنای وزن خشک خرده چوب بود. برای رسیدن به بازده حدود ۸۵ درصد (بازده شرکت چوب و کاغذ مازندران) از زمان‌های پخت ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه و نسبت اختلاط ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد چوب صنوبر استفاده شد. پس از پالایش خمیر کاغذ تا درجه روانی ۳۰۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی، کاغذهای دست ساز استاندارد آزمایشگاهی ساخته شد و مقاومت‌های کاغذ و ویژگی‌های نوری آنها اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج نشان داد که اختلاف معنی داری بین میانگین ویژگی‌های مورد بررسی خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی با افزایش نسبت چوب صنوبر لرزان وجود دارد. همه این ویژگی‌ها بجز ماتنی کاغذ بهبود یافتند. مقایسه مقاومت‌های به دست آمده با مقاومت‌های کاغذ روزنامه و چاپ و تحریر شرکت چوب و کاغذ مازندران حکایت از این دارد که به ترتیب با استفاده از ۲۰ و ۳۰ درصد اختلاط صنوبر لرزان با دو گونه بومی مورد استفاده فعلی، می‌توان به این مقاومت‌ها دست یافت.

واژه‌های کلیدی: صنوبر لرزان، گونه بومی، خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی، ویژگی‌های نوری، مقاومت‌های خمیر کاغذ.

### مقدمه

و مصرف کاغذ بیشتر شود (Barimani, 2011). مقدار کاغذ روزنامه مورد نیاز کشور ۱۳۳۰۰۰ تن در سال می‌باشد که شرکت چوب و کاغذ مازندران بر اساس طراحی اولیه، از ۷۵ درصد چوب ممرز و ۲۵ درصد چوب راش برای تولید این نوع کاغذ مبادرت می‌ورزد. شرکت چوب و کاغذ مازندران به عنوان

با توجه به محدودیت‌های منابع چوبی جنگلی در ایران، واردات چوب گونه‌های مناسب برای تأمین ماده خام مورد نیاز صنایع کاغذ توصیه می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود تقاضا برای محصولات کاغذی در سال‌های آینده به دلیل افزایش جمعیت

هر دو نوع خمیر کاغذ شیمیایی و مکانیکی موفق عمل کرده‌اند. هرچند، اندکی از گونه‌های چوبی مثل صنوبر لرزان یا سایر صنوبرها می‌توانند برای تولید خمیر کاغذ مکانیکی خالص مورد استفاده قرار گیرند (Sundholm, 1998; Niskanen, 1998).

Vesterlind و Höglund (۲۰۰۶) ویژگی‌های چوب صنوبر لرزان شامل دانسیته را تقریباً ۴۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب، طول الیاف: ۱ میلی‌متر، قطر الیاف: ۱۸ میکرومتر و ضخامت دیواره سلولی را ۲ میکرومتر گزارش کردند. آنان دیواره سلولی نازک صنوبر لرزان در مقایسه با چوب توس را دلیلی برای کاهش مقاومت به لهیدگی<sup>۴</sup> آن می‌دانند. در یک مطالعه دیگر (Xu, 2009)، شاخص مقاومت‌کششی خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی تهیه شده از چوب صنوبر لرزان با درجه روانی ۲۱۰ میلی‌لیتر استاندارد کانادایی را بیشتر از ۵۰ نیوتن متر بر گرم گزارش نمود. نتایج به‌دست آمده حکایت از تأثیر تلفیقی<sup>۵</sup> مناسب بر ویژگی‌های کاغذ تهیه شده با اختلاط این خمیر کاغذ و خمیر کاغذ شیمیایی صنوبر لرزان داشت. McGovern و Wegner (۱۹۹۱) هفت نوع خمیر کاغذ با بازده زیاد صنوبر لرزان (بیشتر از ۹۰٪) شامل خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی آن را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که مقاومت‌های این خمیرهای کاغذ با یکدیگر تفاوت زیادی دارد. به‌طوری‌که در بین مقاومت‌های مورد بررسی، مقاومت به ترکیدن خمیر کاغذ و بعد مقاومت‌کششی و پاره‌شدن خمیر کاغذ تفاوت بیشتری داشتند. ارزیابی خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی تهیه شده از چوب صنوبر دلتوئیدس با اورامریکن نشان داد که افزایش زمان آغشتگی و مدت زمان پخت موجب افزایش مقاومت‌های خمیر کاغذ شده است. علاوه بر این، مقاومت‌های خمیر کاغذ گونه اورامریکن بیشتر از گونه دلتوئیدس ارزیابی شد و همچنین روشی گونه اورامریکن و ماتی گونه دلتوئیدس بیشتر گزارش شد.

هدف از این مطالعه، ارزیابی تأثیر اختلاط چوب صنوبر لرزان با چوب ممرز و راش به‌عنوان دو گونه جنگلی بومی،

تولیدکننده انحصاری این محصول، با توجه به کمبود چوب دو گونه مذکور جنگلی بومی، به‌اجبار به واردات گونه‌های توس و صنوبر لرزان از کشور روسیه روی آورده است.

فناوری تولید خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی نسبت به خمیر کاغذ شیمیایی از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است. با استفاده از این فرایند می‌توان از ترکیب یک ماده چوبی، خمیر کاغذهای با ویژگی‌های مختلف یا از چوب‌های با ترکیب مختلف یک نوع خمیر کاغذ تولید کرد. به دنبال نگرانی‌هایی در مورد کاربرد تجاری گونه‌های یهن‌برگ، پس از سال‌ها تحقیق و توسعه، خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی یهن‌برگان برای تولید طیف گسترده‌ای از محصولات کاغذی مثل کاغذهای چاپ و تحریر، مقوا، تیشو، خمیر کاغذ حل‌جی شده<sup>۱</sup> و روزنامه مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از ویژگی‌های کلیدی خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی تهیه شده از چوب یهن‌برگان شامل: حجیمی<sup>۲</sup>، ویژگی‌های نوری، شکل‌گیری الیاف و نرمی مناسب کاغذ می‌باشد (Xu, 2009). Rasouli Garmaroudi و همکاران (۲۰۰۸) به مقایسه مقاومت‌های خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی تهیه شده از ۲۵ درصد چوب صنوبر اورامریکن با ۷۵ درصد چوب ممرز با خمیر تهیه شده از ۲۵ درصد چوب راش و ۷۵ درصد چوب ممرز پرداختند. Zeinali و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر اختلاط چوب شاخه گونه‌های ممرز و راش با نسبت ۳ به ۱ را برای تولید خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی مورد بررسی قرار دادند. مقدار اختلاط چوب شاخه شامل: ۱۶، ۴۰، ۵۶ و ۸۰ درصد در ترکیب با چوب دو گونه مزبور بود. نتایج نشان داد در شرایط ثابت پخت برای رسیدن به بازده پخت ۸۵ درصد، زمان پخت با افزایش درصد شاخه کاهش می‌یابد. آنان نسبت اختلاط کمتر از ۴۰ درصد شاخه را در ترکیب ماده خام برای تولید خمیر شیمیایی- مکانیکی توصیه کردند.

البته برخی از گونه‌های چوبی مثل صنوبر لرزان<sup>۳</sup>، در تولید

4- Collapsation  
5- Synergic

1- Fluff pulp  
2 - Bulk  
3 -Aspen

توسط یک الک ۱۸ مش در بالا و یک الک ۲۰۰ مش در پایین تعیین شد. خمیرکاغذ به دست آمده تا رسیدن به درجه روانی ۳۰۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی توسط یک کوبنده آزمایشگاهی نوع PFI mill طبق استاندارد T248 om-01 تاپی پالایش شد. سپس، کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی با جرم پایه ۶۰ گرم بر مترمربع طبق استاندارد T205 om-88 تاپی تهیه شد. مقاومت‌های کاغذ دست‌ساز شامل شاخص کشش، ترکیدن و پاره‌شدن طبق استاندارد T220 sp-01 تاپی و ویژگی‌های نوری آن شامل روشنی، ماتی و زردی کاغذ طبق استاندارد ایزو شماره ۲۴۷۰ برای هر تیمار اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده با خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی تهیه شده از ۲۵ درصد چوب راش و ۷۵ درصد چوب ممرز به‌عنوان خمیرکاغذ شاهد مورد مقایسه قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری: از نرم‌افزار SPSS برای این منظور استفاده شد. اثر اختلاط چوب صنوبر لرزان بر ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی تهیه شده از آن توسط تجزیه واریانس یک‌طرفه مورد بررسی قرار گرفت. آزمون چند دامنه‌ای دانکن برای گروه‌بندی میانگین‌ها استفاده شد.

### نتایج

اختلاط چوب صنوبر لرزان وارداتی بجز ۳۰ درصد موجب روند افزایشی تغییرات بازده بعد از الک خمیرکاغذ شد (جدول ۱).

بر روی مقاومت‌ها و ویژگی‌های نوری کاغذ دست‌ساز تهیه شده از خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی برای تولید کاغذ روزنامه در شرکت چوب و کاغذ مازندران می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

تهیه نمونه: گونه‌های مورد استفاده در این تحقیق، از یارد کارخانه چوب و کاغذ مازندران به‌طور کاملاً تصادفی تهیه شده است. قبل از پخت، برای تهیه خرده‌چوب استاندارد از یک الک آزمایشگاهی (نوع L&W) استفاده شد و بعد خرده‌چوب‌ها قبل از پخت به مدت ۲۵ دقیقه بخارزنی شد.

تهیه خمیرکاغذ: پخت شیمیایی - مکانیکی به‌وسیله یک دیگ پخت آزمایشگاهی ۱۰ لیتری چرخشی نوع Hatto ساخت کشور فنلاند انجام شد. قلیای فعال به‌صورت مایع پخت سبز مورد استفاده در کارخانه و بر اساس غلظت ۲۰ درصد بر مبنای جرم خشک خرده‌چوب مورد استفاده قرار گرفت. مدت زمان‌های پخت ۳۰ تا ۱۵۰ دقیقه در درجه حرارت حداکثر پخت (۱۷۰ درجه سلسیوس) برای رسیدن به بازده پخت ۸۵ درصد با استفاده از ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد چوب صنوبر لرزان در ترکیب با دو گونه راش و ممرز لحاظ شد. در همه پخت‌ها، نسبت وزنی دو گونه راش به ممرز به ترتیب ۱ به ۳ در نظر گرفته شد. الیاف خرده‌چوب‌های پخته شده با دو بار عبور از یک جداکننده الیاف دیسکی<sup>۱</sup> با فاصله دیسک ۲ میلی‌متر از یکدیگر جدا شدند. خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی به دست آمده شستشو شده و بازده آن با جداسازی وازده‌ها

جدول ۱- نسبت اختلاط گونه‌ها، مدت زمان پخت و بازده بعد از الک خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی

صنوبر لرزان (%)	راش (%)	ممرز (%)	مدت زمان پخت (دقیقه)	بازده بعد از الک (%)
۰	۲۵	۷۵	۲۰	۸۳/۵
۲۰	۲۰	۶۰	۳۰	۸۵/۳
۳۰	۱۷/۵	۵۲/۵	۳۵	۸۳/۱
۴۰	۱۵	۴۵	۴۰	۸۳/۷
۶۰	۱۰	۳۰	۵۰	۸۴/۶
۱۰۰	۰	۰	۷۵	۸۵/۱

1- Disk defibrator

معنی داری در سطح احتمال ۹۵ درصد و ۹۹ درصد با افزایش درصد چوب صنوبر لرزان وجود دارد.

تجزیه و تحلیل آماری نتایج مربوط به ویژگی های کاغذ دست ساز در جدول ۲ آورده شده است. به طوری که بین میانگین همه ویژگی های مورد بررسی، اختلاف آماری

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس ویژگی های کاغذ دست ساز شیمیایی- مکانیکی رنگ بری نشده

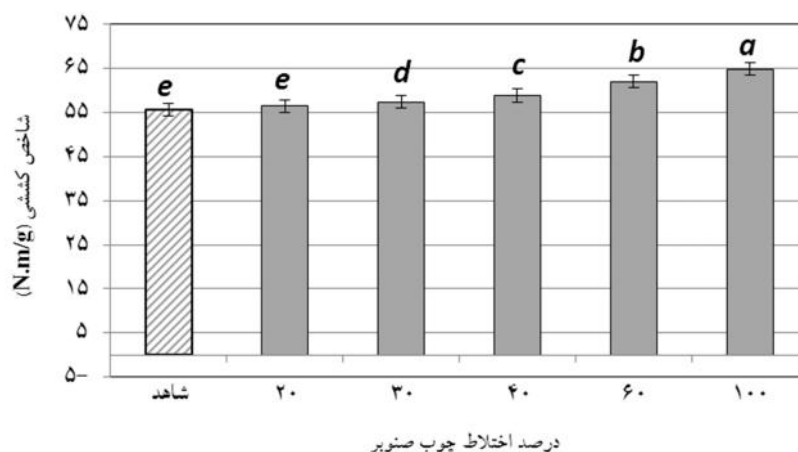
مقدار F	میانگین مربعات	مجذور مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۵/۵۲ *	۲۶/۴۱	۱۰۵/۶۴	۴	شاخص کششی
۷/۹۶ **	۰/۶۳	۲/۵۳	۴	شاخص ترکیب
۲۷/۵۵ **	۰/۹۸	۳/۹۳	۴	شاخص پاره شدن
۸۵/۶۵ **	۴۵/۹۴	۱۸۳/۷۵	۴	روشنی
۷/۳۱ **	۱۴/۸۶	۵۹/۴۶	۴	ماتی
۴۸/۹۵ **	۶۰/۳۰	۲۴۱/۱۹	۴	زردی

\*\* اختلاف در سطح احتمال ۹۹٪ معنی دار است. \* اختلاف در سطح احتمال ۹۵٪ معنی دار است.

۹۵٪ شده است. آزمون دانکن ۶ میانگین به دست آمده شاخص کششی را در ۵ گروه مستقل (گروه *a* تا *e*) قرار داده است. البته بین میانگین شاخص کششی کاغذ تهیه شده از اختلاط ۲۰ درصد چوب صنوبر لرزان و نمونه شاهد اختلاف معنی داری وجود نداشته و هر دو در گروه مستقل *e* قرار گرفتند.

#### مقاومت کششی

شاخص کششی کاغذ، با افزایش مقدار چوب صنوبر لرزان در ترکیب گونه چوبی مورد استفاده افزایش یافته است (شکل ۱). تجزیه واریانس میانگین های این ویژگی نشان داد که اختلاط این چوب با چوب دو گونه ممرز و راش، موجب بروز اختلاف معنی داری در سطح احتمال

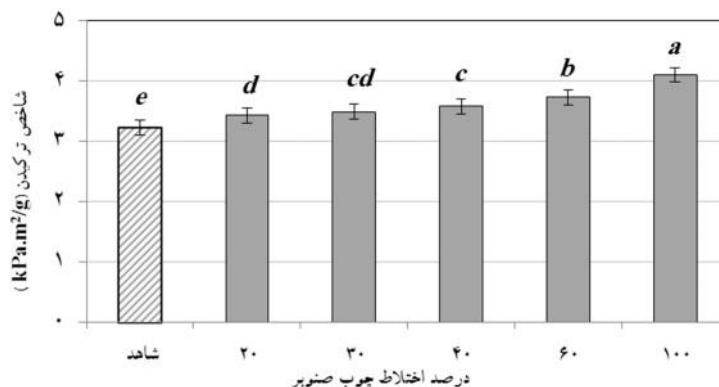


شکل ۱- تاثیر مقدار اختلاط چوب صنوبر لرزان بر شاخص کششی کاغذ CMP

## مقاومت به ترکیدن

ترکیدن کاغذ در مقایسه با نمونه شاهد نشان داد. به طوری که میانگین‌های شاخص ترکیدن کاغذ بر اساس گروه‌بندی دانکن در ۵ گروه مستقل مشابه شاخص کششی قرار گرفتند (شکل ۲).

جایگزینی ۲۰ تا ۶۰ درصد چوب صنوبر لرزان وارداتی با چوب گونه‌های جنگلی بومی برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی، افزایش معنی‌داری را در شاخص

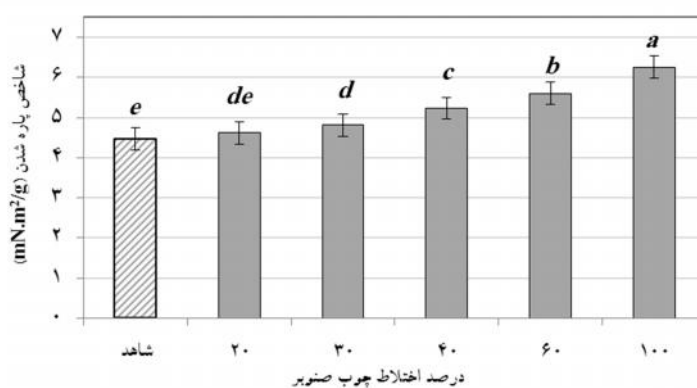


شکل ۲- تاثیر مقدار اختلاط چوب صنوبر لرزان بر شاخص ترکیدن کاغذ CMP

## مقاومت به پاره شدن

گونه‌ها داشته که به وسیله گروه‌بندی دانکن در گروه a قرار گرفت (شکل ۳). البته بین میانگین شاخص پاره شدن خمیرکاغذ تهیه شده از ۲۰ درصد صنوبر لرزان و نمونه شاهد، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، درحالی‌که استفاده از درصد‌های بیشتر چوب صنوبر (بیشتر از ۳۰ درصد) باعث معنی‌دار شدن اختلاف بین میانگین‌ها شده است.

شاخص مقاومت به پاره شدن خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی با افزایش درصد چوب صنوبر وارداتی مورد استفاده، افزایش معنی‌داری را در سطح احتمال ۹۹ درصد داشته است. به طوری‌که میانگین این ویژگی برای ۱۰۰ درصد صنوبر لرزان، بیشترین مقدار را در ترکیب چوبی

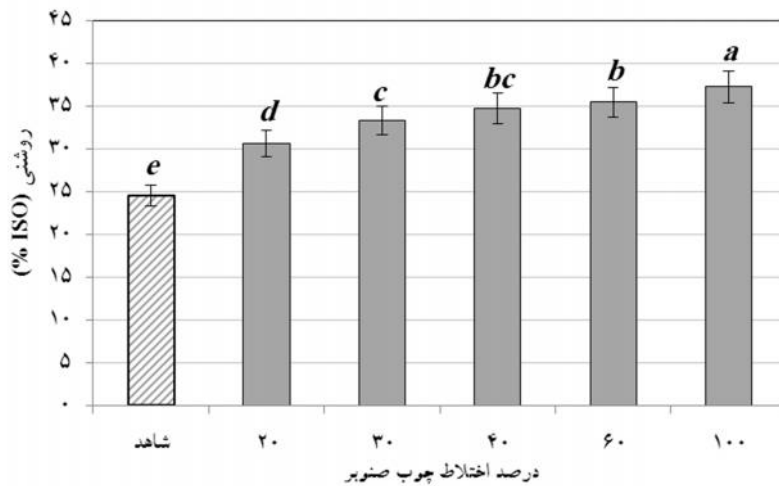


شکل ۳- تاثیر مقدار اختلاط چوب صنوبر لرزان بر شاخص پاره شدن کاغذ CMP

## روشنی

روشنی خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی در محدوده ۲۴/۶ تا ۳۷/۳ درصد می‌باشد که با افزایش نسبت چوب صنوبر لرزان افزایش می‌یابد (شکل ۴).

میانگین‌های روشنی خمیرکاغذ نیز بر اساس گروه‌بندی دانکن در ۵ گروه مستقل قرار می‌گیرد. به نحوی‌که دامنه

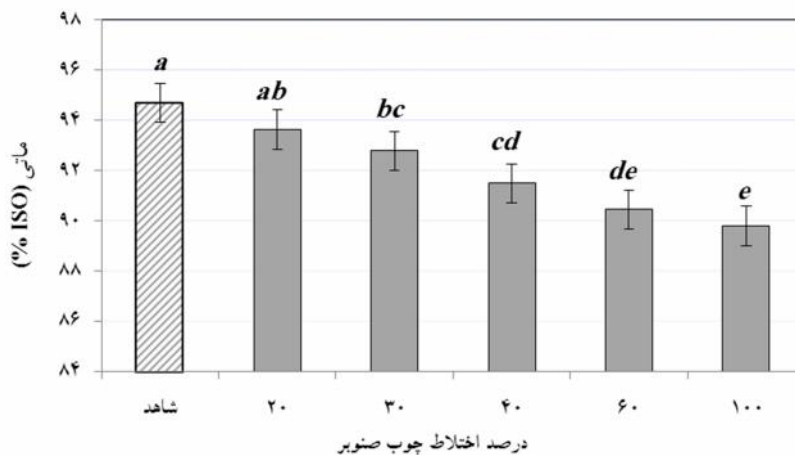


شکل ۴- تاثیر مقدار اختلاط چوب صنوبر لرزان بر بر روشنی کاغذ CMP

به طور معنی داری از سایر تیمارها کمتر است و در گروه مستقل *e* قرار می گیرد (شکل ۵). البته مشابه ویژگی های قبلی، بین کاغذ متشکل از ۲۰ درصد الیاف چوب صنوبر لرزان و نمونه شاهد اختلاف معنی داری وجود ندارد.

#### ماتی

مقایسه ماتی کاغذهای دست ساز نشان داد که ماتی کاغذ شاهد از سایر تیمارها بیشتر است. این در حالی است که میانگین ماتی کاغذ تهیه شده از ۱۰۰ درصد صنوبر لرزان

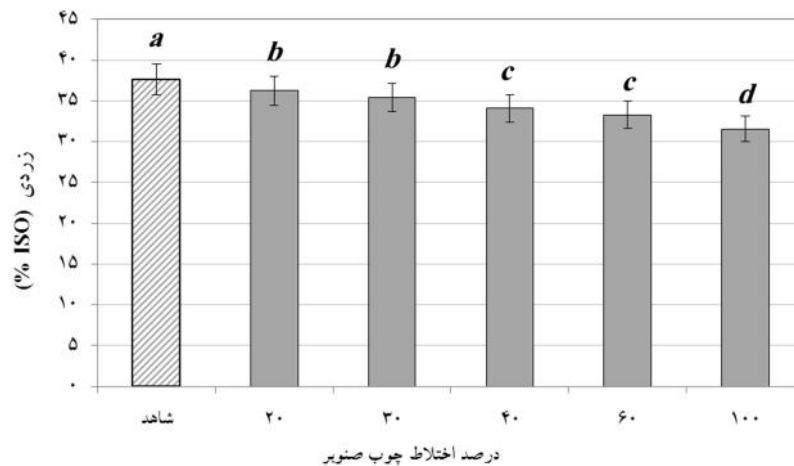


شکل ۱- تاثیر مقدار اختلاط چوب صنوبر لرزان بر ماتی کاغذ CMP

(*d*) به طور معنی داری از سایر میانگین ها کمتر است، درحالی که میانگین زردی نمونه شاهد (گروه *a*) از بقیه بیشتر است (شکل ۶). مقایسه آماری میانگین های زردی کاغذهای تهیه شده از خمیر کاغذهای حاوی الیاف چوب صنوبر لرزان، آنها را در سه گروه مستقل *b*، *c* و *d* قرار داد.

#### زردی

تجزیه واریانس زردی کاغذ نشان داد که اثر استفاده از چوب صنوبر بر این ویژگی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی دار است (جدول ۲). به طوری که میانگین زردی کاغذ دست ساز تهیه شده از ۱۰۰ درصد چوب صنوبر لرزان (گروه



شکل ۶- تاثیر مقدار اختلاط چوب صنوبر لرزان بر زردی کاغذ CMP

#### بحث

#### بازده خمیر کاغذ و پالایش آن

دامنه بازده بعد از الک خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی از ۸۳/۱ درصد (شاهد) تا حداکثر ۸۵/۳ درصد به دست آمد. به طوری که با افزایش درصد اختلاط چوب صنوبر، مدت زمان پخت از ۲۰ به ۷۵ دقیقه افزایش یافت. پالایش خمیر کاغذ شامل انجام عملیات مکانیکی بر روی الیاف است که منجر به بهبود ویژگی‌های کاغذ ساخته شده می‌گردد. افزایش تعداد دور پالایش با افزایش درصد اختلاط چوب صنوبر لرزان در ترکیب چوبی گزارش شده است. البته این موضوع باعث افزایش مصرف انرژی لازم برای پالایش خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی تهیه شده از این چوب خواهد شد. انعطاف پذیری بیشتر الیاف در صنوبرها می‌تواند موجب سر خوردن<sup>۱</sup> الیاف زیر تیغه‌های کوبنده شده، در نتیجه میزان مصرف انرژی پالایش را در مقایسه با سایر پهن‌برگان افزایش دهد (Mahdavi et al., 2013).

#### مقاومت کششی

حداکثر مقاومت کششی به دست آمده یعنی ۶۴/۹ نیوتن متر بر گرم مربوط به استفاده از ۱۰۰ درصد چوب صنوبر لرزان در تولید خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی است. شاخص

کششی به دست آمده نسبت به سایر مطالعات انجام شده (Xu, 2009; McGovern & Wegner, 1991) بیشتر است. قابلیت فشردگی<sup>۲</sup> و انعطاف پذیری بیشتر الیاف به عنوان دلایل دلایل افزایش مقاومت کششی و ترکیب خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی تهیه شده از چوب صنوبر اورامریکن، در مقایسه با اختلاط ۲۵ درصد چوب راش و ۷۵ درصد چوب ممرز ذکر شده است (Rasouli Garmaroudi, et al. 2008). الیاف چوب توس در مقایسه با صنوبر لرزان نسبت به لهیدگی، مقاومت بیشتری نشان می‌دهند (Vesterlind & Höglund, 2006). علاوه بر این، شدت پالایش خمیر کاغذ از طریق افزایش فیبریل شدن الیاف می‌تواند بر لهیدگی آنها اثر بگذارد (Nazeri et al., 2008). مقاومت کششی کاغذ به طول و قطر الیاف، زبری<sup>۳</sup>، سطح نسبی اتصال<sup>۴</sup>، مقاومت الیاف و مقاومت برشی الیاف بر واحد سطح بستگی دارد. زبری الیاف بر شکست، مقاومت و اتصال آنها اثرگذار است. زبری عبارت است از نسبت وزن یک لیف به طول آن. الیاف باریک در صنوبر لرزان دارای زبری کم و تعداد زیاد به ازای هر گرم هستند که در نتیجه طول آنها کوتاه و ضخامت دیواره سلولی شان کم می‌باشد. بنابراین، انتظار می‌رود که سطح

2- Copressibility

3- Coarseness

4- Relative bonded area (RBA)

1- Slipping

تحقیقاتی (Wegner, 1991; Nazarnejad, et al. 1998) & McGovern) بیشتر است.

#### مقاومت به پاره شدن

درصد حجمی الیاف در صنوبر لرزان و راش اروپایی به ترتیب ۶۱ و ۳۷ درصد گزارش شده است (Niskanen, 1998). چنین به نظر می‌رسد که درصد حجمی نسبتاً زیاد و زبری کم الیاف وقتی که از ۱۰۰ درصد چوب صنوبر لرزان استفاده می‌شود، باعث افزایش حداکثر در شاخص پاره شدن کاغذ شده است. McGovern و Wegner (۱۹۹۱) شاخص این مقاومت را برای خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی تهیه شده با روش سولفیت قلیایی از صنوبر لرزان، ۵ میلی نیوتن مترمربع بر گرم گزارش کرده‌اند که می‌تواند با بیشتر از ۳۰ درصد اختلاط چوب صنوبر لرزان در این تحقیق، حاصل شود (شکل ۳).

#### روشنی

بیشترین مقدار روشنی کاغذ با استفاده از ۱۰۰ درصد چوب صنوبر لرزان حاصل شده است که از روشنی خمیر کاغذ سودای سرد رنگ‌بری نشده که توسط McGovern و Wegner ( ) گزارش شده، کمتر است. چوب صنوبر لرزان به طور طبیعی نسبتاً روشن است. سفیدی اولیه بیشتر در چوب صنوبر لرزان در مقایسه با دو گونه جنگلی بومی تیره‌تر می‌تواند به‌عنوان مهمترین دلیل برای افزایش تغییرات روشنی مطرح باشد. علاوه بر این، چوب صنوبر لرزان دارای لیگنین نسبتاً کمتری در مقایسه با سایر پهن‌برگان می‌باشد که باعث رنگ‌بری آسان‌تر آن می‌شود (Rasouli Garmaroudi, et al., 2007). چوب‌های پهن‌برگ با دانسیته کم مثل صنوبر لرزان پاسخ خوبی به رنگ‌بری با پراکسید قلیایی نشان می‌دهند (Jahan Latibari, et al., 2012). البته روشنی این خمیر کاغذ با یک فرایند ساده رنگ‌بری می‌تواند تا ۸۵ درصد ایزو برسد. خمیر کاغذ رنگ‌بری شده با روشنی نسبتاً زیاد صنوبر لرزان، برای ساخت کاغذ چاپ با حجیمی و

نسبی اتصال و مقاومت داخلی اتصال<sup>۱</sup> بین الیاف آنها بهبود یابد (Wang, et al., 2011). در یک دانسیته معین، کاغذ تهیه شده از خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی چوب صنوبر لرزان و اکالیپتوس، مقاومت‌کششی بیشتر و در یک مقاومت‌کششی مشخص، مقدار حجیمی کاغذ آنها نسبت به خمیر کاغذ شیمیایی بیشتر گزارش شده است. حجیمی و مقاومت‌کششی کاغذ به‌عنوان دو ویژگی اساسی مهم در کاغذسازی مطرح هستند و مقدار بیشتر آنها در این صنعت مطلوب می‌باشد (Xu, 2009). دلیل افزایش مقاومت‌کششی کاغذ بیشتر چوب صنوبر لرزان نسبت به چوب راش، مقدار بیشتر سلولز آن بیان شده است (Ververis, et al., 2004).

#### مقاومت به ترکیدن

الیاف صنوبر لرزان با دیواره نازک قادرند اتصال‌های مقاوم‌تری نسبت به گونه‌های راش و ممرز ایجاد کنند (Luostarinen & Mottonen, 2010; Goli, et al., 2013). با افزایش ضخامت دیواره سلولی و صلیبیت الیاف، اتصالات بین لینی ضعیف‌تر شده و به عکس، با نازک‌تر شدن دیواره سلولی، بعد از پالایش الیاف، قابلیت لهیدگی و به تبع آن اتصالات افزایش می‌یابد. افزایش این اتصالات موجب افزایش مقاومت‌کششی و ترکیدن کاغذ حاصل خواهد شد (Goli, et al., 2013; Safdari, 2010; Kostianen, 2006). حداکثر مقاومت به ترکیدن کاغذ مربوط به خمیر کاغذ تهیه شده از ۱۰۰ درصد چوب صنوبر لرزان می‌باشد (گروه a). میانگین شاخص ترکیدن کاغذ ساخته شده از ۳۰ درصد چوب صنوبر لرزان به وسیله آزمون دانکن در گروه آماری غیرمستقل cd قرار گرفت. به عبارت دیگر، اختلاف معنی‌داری بین میانگین این ویژگی با میانگین‌های مقاومت به ترکیدن کاغذ تهیه شده از ۲۰ و ۴۰ درصد چوب صنوبر لرزان وجود ندارد. البته میانگین شاخص مقاومت به ترکیدن همه کاغذهای تهیه شده از خمیر کاغذ شیمیایی - مکانیکی از سایر منابع

1- Internal bond strength (IBS)



کاغذی با ماتی، زبری، حجیمی و جذب مایعات کمتر تولید می‌کنند (Afra, 2007). در نتیجه با استفاده از چوب صنوبر لرزان، ماتی کاغذ به دلیل دیواره نازک و ضریب پخش شدن کم الیاف باریک آن کاهش می‌یابد. البته وجود مواد رنگی کمتر در چوب صنوبر لرزان در مقایسه با چوب ممرز و راش می‌تواند به عنوان یکی از دلایل دیگر کاهش ماتی کاغذ باشد. افزودن بیشتر پرکننده‌هایی مثل کربنات کلسیم و خاک چینی می‌تواند با توجه به افزایش مقاومت‌های کاغذ در این پژوهش مطرح باشد.

#### زردی

اکنون فناوری‌هایی برای کاهش یا جلوگیری از اثر زردی در خمیرکاغذهای شیمیایی - مکانیکی وجود دارند (Xu, 2009). تحقیقات جامع و گسترده‌ای در دهه اخیر برای حل مشکل زرد شدن نوری<sup>۴</sup> کاغذهای دارای لیگنین زیاد انجام شده است. اگرچه در این تحقیق، خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی رنگ‌بری نشد، اما این انتظار وجود دارد که با مصرف چوب صنوبر لرزان برای تولید خمیرکاغذ رنگ‌بری شده، این پدیده نامطلوب کاهش یابد. روند تغییرات زردی کاغذ با افزایش درصد چوب صنوبر مورد استفاده به عکس روشنی کاغذ، نزولی است (شکل ۶) که با سایر منابع منتشر شده (Rasouli Garmaroudi, et al., 2011; Soleimani, et al., 2007) مطابقت دارد.

#### نتیجه‌گیری

در این مطالعه، اثر جایگزینی چوب صنوبر لرزان وارداتی با دو گونه جنگلی بومی پهن‌برگ بر ویژگی‌های نوری و مقاومت‌های خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی سولفیت قلبایی مورد بررسی قرار گرفت. همه مقاومت‌های کاغذ شامل شاخص کششی، ترکیدن و پاره شدن، با استفاده از چوب صنوبر لرزان در اختلاط با دو چوب گونه‌های راش و ممرز بهبود یافت. به طوری که با افزایش نسبت اختلاط چوب

نرمی سطح مناسب، استفاده می‌شود (Vesterlind & Höglund, 2006). در شرکت چوب و کاغذ مازندران درجه روشنی نهایی خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی مورد استفاده برای تولید کاغذ روزنامه در حدود ۵۴ درصد ایزو می‌باشد. مقدار بیشتر درجه روشنی اولیه خمیرکاغذ تهیه شده از چوب صنوبر لرزان حکایت از امکان مصرف کمتر پراکسید هیدروژن برای رنگ‌بری بدون کلر دارد؛ بنابراین، کاهش هزینه رنگ‌بری و عملیات تیمار پساب را بدین وسیله می‌توان انتظار داشت.

#### ماتی

یکی از مهمترین ویژگی‌های کاغذ روزنامه ماتی آن است که به طور مستقیم به حجیمی آن ارتباط دارد. ماتی بیشتر در کاغذ چاپ و تحریر موجب کاهش عبور مرکب به طرف دیگر کاغذ<sup>۱</sup> یا مشکل دیده شدن قسمت‌های چاپ شده طرف دیگر<sup>۲</sup> می‌شود (Xu, 2009). مقایسه میانگین‌های ماتی کاغذ ساخته شده از ۲۰ تا ۶۰ درصد چوب صنوبر لرزان یک روند کاهشی را نشان داد. در این تحقیق، میانگین ماتی اندازه‌گیری شده برای خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی تهیه شده از صنوبر، نسبت به سایر تحقیقات منتشر شده (Xu, 2009) بیشتر است.

افزایش سطح اتصالات بین لیفی، اثر معکوسی بر ماتی کاغذ دارد (Wood & Karais, 1991). انعطاف‌پذیری الیاف بر ضریب پخش شدن نور اثرگذار است (Mark, et al., 2002). قابلیت لهیدگی و ضریب انعطاف‌پذیری زیاد در صنوبرها موجب افت ضریب پخش شدن نور<sup>۳</sup> شده که در نتیجه ماتی کاهش می‌یابد (Rasouli Garmaroudi, et al., 2008). نرمه‌های خمیرکاغذ شیمیایی - حرارتی - مکانیکی صنوبر لرزان دارای سطح ویژه کم و در نتیجه ضریب پخش شدن نور کمتری هستند (Wu, et al., 2004). الیاف با دیواره نازک دارای انعطاف‌پذیری زیاد بوده و

1- Ink show through

2 -Print-through

3 -Light-scattering coefficient

4- Photo-yellowing

- technical and economic aspects, *Cellulose Chem. Technol.*, 47 (3-4): 267-275.
- Mark, R. E., Habeger, C.C., Borch, J. and Lyne, M.B., 2002. *Handbook of Physical Testing of Paper*, Vol. 1, CRC Press, 1027p.
- McGovern, J. N. and Wegner, T. H., 1991. Papermaking properties of aspen ultrahigh-yield mechanical pulps *Tappi J.*, 74(8): 157-161.
- Nazarnejad, N., Resalati, H., Jahan latibari, A., Hosseinzadeh, A., Zabihzadeh, S.M. and Talaeipoor, M., 1998. Reviewing the specifications of pulp and paper with high efficiency CMP from two species of *deltoides* and *euroamerican populous*, *Pajouhesh & Sanzandegi*, 36(3): 32-34 (In Persian).
- Nazeri, A. M., Talaeipoor, M. and Mirshokraie, S.A., 2008. The Study of Fiber Fines and Its Effects on Mechanical Strength of Newsprint Paper from CMP Pulp, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 22(2): 121-131 (In Persian).
- Niskanen, K., 1998. *Paper Physics*, Book 16, edited by G. Baum, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI, 324 p.
- Rasouli Garmaroudi, E., Resalati, H. and Mahdavi, S., 2007. CMP Pulping from *Populus euramericana* for Newsprint Production, *Journal of the Iranian Natural Res.*, 60(3):1013-1022 (In Persian).
- Rasouli Garmaroudi, E., Resalati, H. and Mahdavi, S., 2008. Effect of wood raw material combination on the properties of chemi-mechanical pulp for making newsprint, *Pajouhesh & Sanzandegi*, 76(3): 69-72 (In Persian).
- Riikonen, J., Holopainen, T., Oksanen, E. and Vapaavuori, E., 2005. Leaf photosynthetic characteristics of silver birch during three years of exposure to elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in the field, *Tree Physiology*, 25(5): 621-632.
- Safdari, V.R., 2010. Morphological characteristics and chemical components of *Ulmus glabra*, *Ulmus campestris*, *Zelkova carpinifolia*, *Celtis australis* woods, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 25(2): 248-259 (In Persian).
- Soleimani, A., Resalati, H. and Akbarpour, I., 2011. Optical and physical properties of mixed hardwood CMP pulp and the birch wood, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 26(3): 523-534 (In Persian).
- Sundholm, J., 1998. *Mechanical pulping*, Book 5, edited by J. A. Kurdin, Finnish Paper Engineers' Association and TAPPI, 427 p.
- Ververis, C., Georghiou, K., Christodoulakis, N. and Santas, P., 2004. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production, *Industrial Crops and*

صنوبر لرزان از ۲۰ تا ۱۰۰ درصد، مقاومت‌های مذکور دارای روند افزایشی هستند. به‌علاوه، درصد روشنی و زردی کاغذ تهیه شده از اختلاط چوب صنوبر لرزان بهبود یافت، درحالی‌که ماتی کاهش یافت. این موضوع می‌تواند باعث کاهش هزینه‌کرد تولید از طریق کاهش رنگ‌بری و تیمار پساب آن شود. البته مصرف بیشتر کربنات کلسیم و خاک چینی می‌تواند به حل مشکل ماتی کاغذ کمک کند. بنابراین، بر اساس ویژگی‌های نوری و مقاومت‌های کاغذ حاصل، امکان جایگزینی صنوبر لرزان وارداتی با بخشی از دو گونه بومی جنگلی مورد استفاده وجود دارد. مقایسه مقاومت‌های به‌دست آمده کاغذ دست‌ساز با کاغذ چاپ و تحریر تولید شده در شرکت چوب و کاغذ مازندران نشان داد که به ترتیب با استفاده از حداقل ۲۰ و ۳۰ درصد چوب صنوبر وارداتی، می‌توان به مقاومت‌های مورد نظر دست یافت.

#### منابع مورد استفاده

- Afra, E., 2007. *Properties of paper: an introduction*, Aeeizh Press, 241p. (In Persian).
- Barimani, A., 2011. Establishment locating of production the fluting paper by using agricultural waste in Mazandaran province, M.Sc. thesis. Gorgan University, 87p. (In Persian).
- Goli, M., Zabihzadeh, S.M., Asadpoor, G. and Barzan, A., 2013. Effect of species mixing on chemimechanical pulp properties, M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources of Sari, 76 p. (In Persian).
- [http://www.iranwoodind.com//main\\_fa.asp?status=statistics](http://www.iranwoodind.com//main_fa.asp?status=statistics)
- Jahan Latibari, A., Pouali, K. and Fakhrian, A., 2012. Alkaline peroxide mechanical pulping of fast-growth paulownia wood, *Bioresources*, 7(1): 265-274.
- Kostiainen, K., Jalkanen, H., Kaakinen, S., Saranpaa, P. and Vapaavuori, E., 2006. Wood properties of two silver birch clones exposed to elevated CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>, *Global change Biol.* 12(7): 1230-1240.
- Luostarinen, K. and V. Mottonen, 2010. Radial variation in the anatomy of *Betula pendula* wood from different growing sites, *Baltic forestry*, 16(2): 209-216.
- Mahdavi, S., Kernmanian, H., Ramezani, O. and S. Molavi, 2013. Assessment of five successful poplar clones for kraft pulp production considering

- Understanding the fiber development during co-refining of white birch and black spruce mixtures. Part 1. Chemithermomechanical pulping, *Pulp Pap. Canada*, 105(12): 83-87.
- Xu, E.C., 2009. Chemical- mechanical pulping of eucalyptus - latest development and comparison, *Revista Celulosa y Papel*, 8, 6-17.
- Zeinaly, F., Resalati, H. and Tasooji, M., 2011. Investigation Effect of Using Branch Woods of Hornbeam and Beech in Compound of Hardwoods Stems Wood Mixture on CMP Pulp Properties, *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 18(1): 77-90.
- Products, 19(3): 245-254.
- Vesterlind, E. L. and Höglund, H., 2006. Chemithermomechanical pulp made from birch at high temperature, *Nord Pulp and Paper Res. J.*, 21(2): 216-221.
- Wang, B., Li, R., He, B. and Li, J., 2011. Fiber lignin coverage vs. strength, *Bioresources*, 6(4):, 4356-4369.
- Website of information cellulose industries of Iran 2014, <http://www.paperandwood.com>.
- Wood, J. R. and Karais, A., 1991. Future furnish requirements for newsprint and mechanical printing paper, *Pulp Pap. Canada* 9291): 72-75.
- Wu, M.R., Lanouette, R. and J.L. Valade, 2004.

## Investigation on combining aspen wood with two native hardwood species for Chemi-Mechanical pulping

M. Goli<sup>1\*</sup>, Gh. Asadpur<sup>2</sup>, S. Mahdavi<sup>3</sup> and A. Barimani<sup>4</sup>

1\*-Corresponding author, M.Sc., graduate, Department of Wood and Paper Science and Technology, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. Email: me2020@gmail.com

2- Assistant professor, Wood and Paper Science and Technology, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

3- Associate professor, Wood and Forests Products Division, Research Institute of Forests and Rangelands (RIFR), Karaj, Iran.

4- M.Sc. graduate, Department of Wood and Paper Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: Feb., 2015

Accepted: Oct., 2015

### Abstract

Importing of wood has been considered as a solution to supply raw material in Iranian paper industry because of wood shortage. Therefore, the effect of mixing the imported aspen round wood with the two native hardwood forest species including hornbeam and beech on the optical and mechanical properties of CMP pulp was investigated. Cooking conditions consist of maximum temperature at 170 °C with a liquor-to-wood ratio (L/W) of 7, and chemical content of 20% based on the oven-dry weight of the wood chips. CMP pulps were prepared at different cooking times of 30 to 120 minutes using 20, 30, 40, 60, and 100% aspen wood in combination with the two species to achieve the yield of nearly 85%. Standard laboratory hand sheets were made after refining the pulp 300 ml CSF, and then the strengths and optical properties were measured. Statistical analysis of the results showed that there were significant differences among the properties of CMP pulps by increasing the aspen wood ratio. All the properties have been improved except opacity of the paper. The required strength of newsprint and printing/writing paper made in Mazandaran wood and paper industries (MWPI) could be achieved by mixing of 20 and 30% imported aspen wood to the native species currently used, respectively.

**Keywords:** Aspen, native species, CMP pulp, pulp strengths, optical properties.