فصلنامه علمی – پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران
جلد ۳۳، شماره ۱، صفحه ۴۹-۳۸ (۱۳۹۷)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijwpr.2018.110569.1409

مقایسه تولید خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی از سه گونه پهن‌برگ و تأثیر پالایش و رنگ‌بری بر ویژگی‌های کاغذ ساخته شده آنها

مجتبی گلی[1*] و سعید مهدوی[2]

۱*- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران،
پست الکترونیک: goli.me2020@gmail.com
۲- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۶

چکیده

در سال‌های اخیر مشکلات زیست‌محیطی ناشی از برداشت بی‌رویه چوب و کمبود این مواد اولیه، صنایع چوب و کاغذ و کشور را با بحران جدی روبه‌رو کرده که ارائه راه‌کارهای اصولی و دراز مدت را برای تأمین مواد اولیه سلولزی طلب می‌کند. این مطالعه با هدف مقایسه ویژگی‌های خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) سه گونه پهن‌برگ خالص و مخلوط شامل ۴۰٪ صنوبر (گونه دلتوئیدس)، ۱۵٪ راش و ۴۵٪ ممرز انجام شد. شرایط خمیرسازی برای رسیدن به بازده ۸۵ درصد شامل مدت زمان‌های متفاوت پخت (۶۰-۲۵ دقیقه)، درجه حرارت ثابت ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت مایع پخت به چوب ۷ به ۱ بود. بخشی از خمیرها پس از پالایش با تعداد دور ثابت پالایشگر آزمایشگاهی PFI (۸۲۰۰ دور) رنگ‌بری شد. پس از ساخت کاغذهای دست‌ساز آزمایشگاهی از خمیرهای پالایش‌شده رنگ‌بری شده و نشده، ویژگی‌های آنها طبق استاندارد TAPPI مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین خمیرهای خالص، گونه صنوبر به لحاظ مجموع ویژگی‌ها، دارای ویژگی‌های مکانیکی و نوری بهتری بود. درمجموع، رنگ‌بری خمیرکاغذ شیمیایی مکانیکی موجب افزایش شاخص مقاومت کششی و ترکیدن و کاهش شاخص پارگی شد. بیشترین درجه روشنی اولیه برای گونه صنوبر و کمترین آن مربوط به گونه راش تعیین شد. مقادیر ماتی و زردی کاغذ بعد از رنگ‌بری در هر دو نوع خمیرکاغذ خالص و مخلوط، کاهش یافتند.

واژه‌های کلیدی: گونه‌های پهن‌برگ جنگلی، کمبود ماده اولیه، خمیرکاغذ CMP، ویژگی‌های نوری و مکانیکی.

مقدمه

شناخت تفاوت‌های موجود بین خواص مختلف چوب‌ها (مثل خواص شیمیایی و ریخت‌شناسی) می‌تواند در بهینه‌سازی کمی و کیفی تولید محصولات مختلف سلولزی و نیز جبران بخشی از کمبود ماده اولیه چوبی صنایع کاغذسازی مؤثر واقع شود (Huda *et al.*, 2012; Akkemik *et al.*, 2012).

در تحقیقی با هدف امکان‌سنجی جایگزینی بخشی از چوب‌های راش و ممرز مصرفی در شرکت کارخانه چوب و کاغذ مازندران برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی از گونه وارداتی صنوبر لرزان با نسبت اختلاط ۲۰،۳۰،۶۰،۱۰۰ استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش میزان

Archive of SID
www.SID.ir

اختلاط چوب صنوبر لرزان وارداتی، بین میانگین ویژگی‌های مورد بررسی این خمیرکاغذ، اختلاف معنی‌داری وجود دارد و همه ویژگی‌ها به‌جز ماتی کاغذ بهبود یافتند. مقایسه مقاومت‌های به‌دست‌آمده با مقاومت‌های کاغذ روزنامه و چاپ تولیدشده توسط این شرکت حکایت از این دارد که به‌ترتیب با استفاده از ۲۰ و ۳۰ درصد اختلاط صنوبر لرزان با دو گونه بومی مورداستفاده فعلی، می‌توان به مقاومت‌های مجاز دست‌یافت (*Goli et al.*, 2015).

این تحقیق با هدف امکان‌سنجی جایگزینی بخشی از چوب‌های راش و ممرز در تولید خمیرکاغذ شیمیایی/مکانیکی کارخانه چوب و کاغذ مازندران با گونه‌های جنگلی و غیرجنگلی انجام شد. نتایج اندازه‌گیری ابعاد و بازده الیاف گونه‌های مورداستفاده نشان داد که ممرز دارای بیشترین طول فیبر و کلهو دارای بیشترین بازده فیبر است. نتایج آنالیز شیمیایی گونه‌ها نشان داد که صنوبر حاوی بیشترین مقدار سلولز و کمترین مقدار مواد استخراجی است. بیشترین و کمترین مقدار لیگنین به‌ترتیب برای گونه ممرز و گونه بلوط به‌دست آمد. نتایج ارزیابی خواص مقاومتی و نوری کاغذ قبل و بعد از عمل رنگ‌بری خمیرکاغذ نشان داد که بهترین ترکیب گونه‌ها از نظر خواص مقاومتی و درجه روشنی مربوط به تیمارهایی بود که گونه صنوبر در آنها با درصدهای بالا وجود داشت. بیشترین مقدار مقاومت در برابر پاره شدن نیز در تیمار حاوی ۴۰ درصد صنوبر در ترکیب با ۱۵ درصد راش و ۴۵ درصد ممرز به‌دست آمد. بعلاوه، ماتی کاغذ با افزایش مقدار گونه افرا (تا میزان ۴۰ درصد) و کاهش مقدار صنوبر (تا میزان ۲۰ درصد) بهبود یافت (*Goli et al.*, 2015). فناوری خمیرسازی شیمیایی- مکانیکی برای کشورهای درحال‌توسعه به‌دلیل محدودیت منابع چوبی و امکان استفاده از گونه‌های مختلف در طیف گسترده‌تر و تنوع تقاضای بازار برای انواع محصولات کاغذ بسیار مهم است (Smook, G.A. 2001; Ugurlua *et al.*, 2008). صنایع چوب و کاغذ مازندران بزرگ‌ترین کارخانه تولید کاغذ روزنامه در ایران می‌باشد. ترکیب خمیر مورداستفاده برای تولید کاغذ روزنامه شامل ۸۳ درصد خمیر شیمیایی- مکانیکی (CMP) حاصل از چوب گونه‌های پهن‌برگ شمال (ممرز، راش و صنوبر) به همراه ۱۷ درصد خمیر الیاف بلند کرافت سفید شده می‌باشد.

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد استفاده از سایر گونه‌ها برای تأمین چوب مورد نیاز واحد خمیرسازی به روش شیمیایی- مکانیکی انجام شده که به ذکر برخی از آنها اشاره می‌گردد.

تأثیر اختلاط گونه غان با دو گونه جنگلی ممرز و راش را با حفظ نسبت اختلاط با ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۱۰۰ درصد غان در ترکیب با دو گونه جنگلی راش و ممرز در شرکت چوب و کاغذ مازندران در تولید خمیرکاغذ CMP مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان اختلاط چوب غان، بین میانگین ویژگی‌های مورد بررسی خمیرکاغذ CMP، اختلاف معنی‌داری وجود دارد و همه این ویژگی‌ها به‌جز ماتی کاغذ بهبود یافتند. افزایش روشنی خمیرکاغذ با افزودن درصد چوب غان، انتظار مصرف کمتر پراکسید هیدروژن و پساب تولیدشده را نوید می‌دهد. مقایسه مقاومت‌های کاغذهای ساخته‌شده با کاغذهای روزنامه و چاپ و تحریر چوب و کاغذ مازندران نیز نشان داد که به‌ترتیب با افزودن ۱۰ و ۲۰ درصد چوب غان به دو گونه جنگلی مورداستفاده، می‌توان به مقاومت‌های موردنیاز دست‌یافت که از نظر اقتصادی برای واردات چوب غان نیز قابل‌توجه است (*Goli et al.*, 2015).

در بررسی اثر استفاده از چوب گونه بید با نسبت‌های مختلف اختلاط با گونه‌های چوبی مصرفی در کارخانه چوب و کاغذ مازندران بر خواص نوری و مکانیکی کاغذ روزنامه حاصل از خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی به این نتیجه رسیدند که با افزایش نسبت اختلاط خمیرکاغذ بید، میزان روشنی کاغذ کاهش و میزان زردی و ماتی کاغذ افزایش می‌یابد. همچنین مقاومت کششی و پارگی در شرایط نسبتاً یکسان با کاغذهای تولیدشده در کارخانه قرار داشتند (Hoseinzadeh *et al.*, 2011).

در بررسی تأثیر استفاده از چوب شاخه ممرز و راش در ترکیب چوب تنه مخلوط پهن‌برگان بر ویژگی‌های خمیرکاغذ

Archive of SID

www.SID.ir

شیمیایی- مکانیکی به این نتیجه رسیدند که با افزایش چوب شاخه در مخلوط تنه پهن‌برگان، خواص نوری و مقاومتی کاغذ به‌دست‌آمده اندکی کم شد، ولی استفاده از چوب شاخه تا حدود ۴۰ درصد در ترکیب نهایی ماده اولیه مصرفی برای ساخت خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی قابل توصیه است (Zeinaly *et al.*, 2009).

بر روی فرایند انفجاری با بخار آب بررسی‌هایی انجام داده است. این فرایند برای گونه پهن‌برگ غان نتایج مفیدی داشته است، به‌طوری‌که خواص کاغذ تهیه‌شده به روش انفجاری توس بیش از ۵۰ درصد بهتر از خمیرکاغذهای شیمیایی- مکانیکی -حرارتی[1] و شیمیایی- مکانیکی همان گونه بود (Kokta *et al.*, 2009).

یکی از مهمترین عوامل رنگبر که نسبت به استفاده از کلر و ترکیبات آن برای محیط‌زیست بی‌خطر است، پراکسید هیدروژن می‌باشد. سرعت کندتر تجزیه پراکسید هیدروژن و زمان ماندن طولانی‌تر خمیرکاغذ در معرض آنیون هیدروپراکسید، لیگنین‌زدایی بهتری را نتیجه خواهد داد (Akkemik *et al.*, 2012).

Mohta و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیق خود بر روی رنگ‌بری دو نوع خمیرکاغذ مکانیکی کنف شامل کل ساقه کنف و پوست کنف (حاوی ۲۲ درصد مغز) با پراکسید هیدروژن، به این نتیجه رسیدند که با مصرف ۱٪ پراکسید هیدروژن و ۱٪ هیدروکسید سدیم، درجه روشنی خمیرها به‌ترتیب از ۵۲/۲ و ۴۵/۶ درصد به ۶۴ و ۶۲ درصد رسید و با مصرف پراکسید هیدروژن و هیدروکسید سدیم بیشتر، روشنی هر دو خمیرکاغذ می‌تواند تا ۷۵ درصد نیز برسد. نتایج نشان داد که چون الیاف مغز کنف مواد استخراجی و لیگنین بالاتری دارد، مصرف پراکسیدهیدروژن برای خمیرکاغذ کل ساقه کنف بالاتر است. Pan (۲۰۰۳) پی برد که در رنگ‌بری خمیرکاغذ شیمیایی حرارتی مکانیکی صنوبر، با افزایش مقدار پراکسید و قلیاییت، روشنی افزایش، بازده کاهش و مقاومت‌ها بهبود می‌یابد.

Wang و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی رنگ‌بری کاملاً بدون کلر (TCF) خمیرکاغذ سودای باگاس با توالی (OP)Q)PO به این نتیجه رسیدند که در مرحله (OP) با افزودن ۰/۵ درصد پراکسید برای تقویت لیگنین‌زدایی با اکسیژن، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در مقایسه با مرحله O حاصل شده است. به‌طورکلی نتایج تحقیق آنان نشان داد که توالی (OP)Q)PO یک فرایند مناسب برای تولید خمیرکاغذ باگاس با کیفیت زیاد با درجه روشنی خوب و بدون آلودگی است.

هدف از انجام این تحقیق، بررسی ویژگی‌های خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی مورداستفاده برای کاغذ چاپ مکانیکی از سه گونه جنگلی راش، ممرز و صنوبر به‌صورت خالص و مخلوط با یکدیگر می‌باشد. همچنین تأثیر رنگ‌بری بر خواص مکانیکی و نوری کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از ترکیب متفاوت خمیرهای کاغذ مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

خرده‌چوب مورداستفاده برای پخت شامل صنوبر دلتوئیدس، راش و ممرز بودند. مواد شیمیایی مورداستفاده برای پخت و رنگ‌بری به‌ترتیب شامل مایع پخت و پراکسید هیدروژن (ساخت شرکت مرک آلمان) بودند.

مواد اولیه مصرفی

پخت CMP

در این پژوهش از چوب‌های صنوبر، راش و ممرز به‌صورت جدا و نیز مخلوط با نسبت وزنی چوب ۴۰٪ (صنوبر)، ۱۵٪ (راش) و ۴۵٪ (ممرز) برای پخت به روش شیمیایی- مکانیکی با استفاده از مایع پخت مورداستفاده در کارخانه (با مشخصات زیر) استفاده شد.

- pH: ۷/۳
- Total Na_2O: ۱۰۷ g/lit
- Active SO_2:۱۰۹ g/lit
- Liquor density: ۱/۲ g/cm^3

1-Chemical Thermo Mechanical Pulp (CTMP)

Archive of SID
www.SID.ir

براساس محاسبات انجام شده، این مایع پخت شامل سولفیت سدیم با غلظت ۲۱۴/۶ گرم در لیتر است. با توجه به غلظت ۱۴٪ در نظر گرفته‌شده برای پخت نسبت به وزن خشک خرده‌چوب (۵۰۰ گرم)، وزن مایع پخت براساس دانسیته آن ۳۹۲ گرم می‌باشد. ازآنجایی‌که نسبت مایع پخت نیز ۷ به ۱ در نظر گرفته شد، با احتساب مقدار رطوبت خرده‌چوب (وزن آب خرده‌چوب)، بقیه تا رسیدن به حجم ۳۵۰۰ سانتیمتر مکعب به مایع پخت آب افزوده شد.

شرایط پخت برای رسیدن به بازده حدود ۸۵٪ (بازده کارخانه) تنظیم شد و جداسازی الیاف خرده‌چوب‌ها توسط یک دفیبراتور آزمایشگاهی از نوع دیسکی انجام شد. خمیرکاغذ تهیه‌شده به مدت یک هفته هوا خشک شد و پس از محاسبه درصد رطوبت برای جلوگیری از تغییرات رطوبت، در داخل کیسه‌های پلی‌اتیلنی قرار داده شد.

رنگ‌بری

ابتدا خمیرکاغذ با خشکی ۳ درصد، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و pH کنترل شده ۳ تا ۴، برای مدت ۳۰ دقیقه به‌منظور حذف یون‌های فلزی سنگین[1] توسط DTPA (۰/۳ درصد بر مبنای وزن خشک خمیرکاغذ) تیمار شد.

ماده رنگبر شامل ۳٪ پراکسید هیدروژن (H2O2) و ۲/۵٪ هیدروکسید سدیم (NaOH) بر مبنای وزن خشک خمیر بود. سیلیکات سدیم (Na2SiO3) نیز به‌عنوان پایدارکننده شرایط قلیایی و حفاظت از تخریب پراکسید هیدروژن به مقدار ۲٪ بر مبنای وزن خشک استفاده شد. پس از افزودن مقدار مورد نیاز مواد شیمیایی مذکور به خمیرکاغذ CMP، pH مخلوط تعیین شد. سپس به مدت ۲ ساعت این مخلوط در حمام آبی تحت دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و pH عصاره مخلوط رنگ‌بری حدود ۹ اندازه‌گیری شد. پس از اتمام مدت زمان رنگ‌بری، درصد قلیایی و میزان پراکسید باقیمانده در خمیرکاغذ تعیین شد. معمولاً ۱۵-۵ درصد قلیایی کل و ۱۰-۵ درصد پراکسید باید در مایع رنگ‌بری باقی‌مانده باشد. سپس خمیرکاغذ با ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب ۵۰ درجه سانتی‌گراد (مطابق فرآیند تولید) بر روی قیف بوخنر که در روی آن کاغذ صافی قرار دارد شستشو داده می‌شود تا مایع رنگ‌بری از خمیرکاغذ کاملاً جدا شود.

پالایش خمیرکاغذ و ساخت کاغذ دست‌ساز

خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی تهیه شده، قبل (RB^{2}) و بعد از مرحله رنگ‌بری (BR^{2}) توسط یک دستگاه کوبنده آزمایشگاهی از نوع PFI تا رسیدن به درجه روانی ۲۸۰±۲۰ میلی‌لیتر پالایش شد. سپس از خمیرهای کاغذ خالص و مخلوط پالایش شده قبل و بعد از رنگ‌بری، کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی ساخته شد و ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری طبق استانداردهای تاپی به‌شرح زیر اندازه‌گیری شد.

- پالایش خمیرکاغذ : T 248 sp-00
- اندازه‌گیری درجه روانی: T 227 om-99
- مقاومت کششی: T 494om-01
- مقاومت به ترکیدن: T 403 om-02
- مقاومت به پارگی: T 414 om-04
- ویژگی‌های نوری: T 452 om-02

به‌منظور تجزیه‌وتحلیل میانگین ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز، از آزمون تجزیه واریانس استفاده شد که در صورت معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها، گروه‌بندی با کمک آزمون دانکن انجام شد.

ویژگی‌های نوری خمیرهای کاغذ قبل و بعد از رنگ‌بری، باتوجه به مقاومت‌های خمیرکاغذ تیمار برتر BR یا RB، مورد اندازه‌گیری و مقایسه قرار گرفت.

نتایج

دانسیته

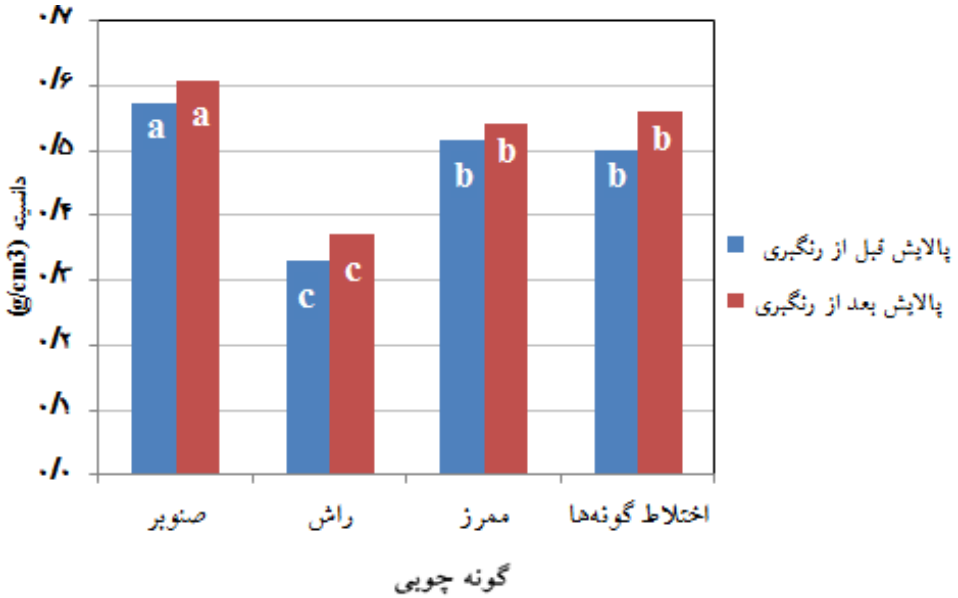
1- Chelating

2- Refining and after that bleaching
3- Bleaching and after that refining

Archive of SID

www.SID.ir

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به دانسیته کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیرکاغذ خالص و مخلوط گونه‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد و گروه‌بندی دانکن میانگین‌های این ویژگی را در ۳ گروه مستقل قرار داده است (شکل ۱). بیشترین دانسیته کاغذ مربوط به خمیرکاغذ تهیه‌شده از گونه خالص صنوبر و کمترین دانسیته مربوط به گونه خالص راش می‌باشد. همچنین بین میانگین این ویژگی در دو تیمار RB و BR نیز اختلاف آماری در همین سطح وجود دارد و تیمار RB از این نظر منجر به افزایش دانسیته کاغذ نسبت به تیمار BR در همه خمیرهای کاغذ شده است. افزایش پیوندهای بین لیفی می‌تواند ازجمله دلایل افزایش دانسیته کاغذ در تیمار RB باشد که معمولاً با افزایش دانسیته کاغذ ویژگی‌های مقاومتی کاغذ نیز بهبود می‌یابد.



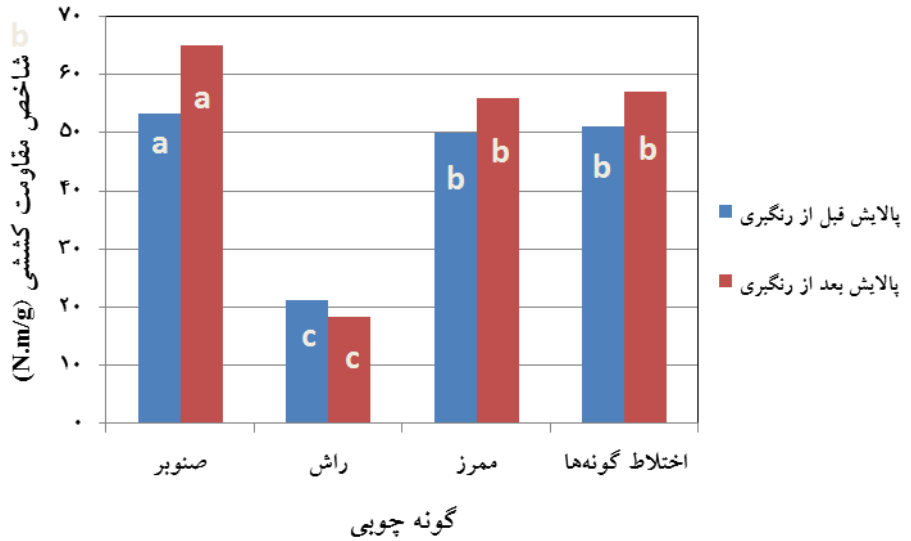
شکل ۱- اثر گونه چوبی بر دانسیته خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی پالایش‌شده قبل و بعد از رنگ‌بری

شاخص مقاومت کششی

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین شاخص مقاومت کششی خمیرکاغذهای حاصل از گونه‌های خالص (ممرز، راش و صنوبر) و اختلاط آنها در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. آزمون دانکن مقادیر اندازه‌گیری شده را در ۳ گروه قرار داده است. نتایج حاصل از بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص مقاومت کششی خمیرهای کاغذ قبل و بعد از رنگبری مربوط به گونه صنوبر (گروه a) و کمترین آن مربوط به گونه راش (گروه c) می‌باشد (شکل ۲). جدول تجزیه واریانس همچنین نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت کششی خمیرکاغذ CMP تهیه‌شده از اختلاط گونه‌ها که قبل و بعد از پالایش رنگ‌بری شده است، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، درحالی‌که این اختلاف برای خمیرکاغذ خالص صنوبر و ممرز با راش معنی‌دار است. شکل ۱ نشان می‌دهد که تیمار پالایش بعد از رنگ‌بری منجر به مقاومت کششی بیشتری (به‌ویژه گونه صنوبر) برای همه خمیرها به‌غیراز خمیرکاغذ گونه راش شده است. ضریب انعطاف‌پذیری الیاف، مقدار لیگنین و مواد استخراجی از فاکتورهای مهم در بین گونه‌ها است که می‌تواند با تأثیر منفی بر روی تعداد و میزان اتصال بین الیاف، میزان مقاومت کششی را تحت تأثیر قرار دهد (Sixta, 2006). بالا بودن ضریب انعطاف‌پذیری الیاف صنوبر و نیز کم بودن میزان لیگنین و زیاد بودن میزان سلولز چوب صنوبر ازجمله دلایل

Archive of SID
www.SID.ir

بیشتر بودن مقاومت کششی این‌گونه نسبت به دو گونه چوبی دیگر است. افزایش فیبریلاسیون داخلی به دلیل جدا شدن فیبریل‌های سلولزی و لیگنین‌زدایی بهتر در مرحله رنگ‌بری که منجر به تورم بیشتر دیواره سلولی و به‌تبع آن افزایش سطح اتصالات بین لیفی در خمیرکاغذ RB صنوبر می‌شود را می‌توان دلیل احتمالی افزایش شاخص کششی پس‌ازاین تیمار دانست؛ بنابراین، با افزایش مصرف گونه صنوبر و کاهش مصرف گونه راش، انتظار افزایش مقاومت کششی خمیرکاغذ مخلوط را می‌توان داشت.



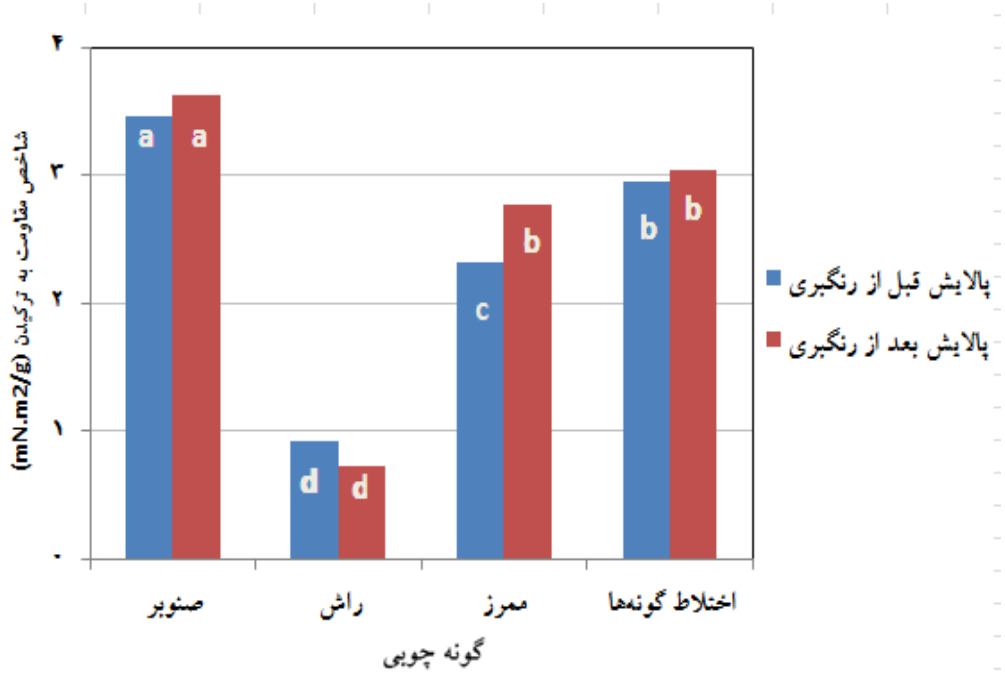
شکل ۲- اثر گونه چوبی بر شاخص مقاومت کششی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی پالایش‌شده قبل و بعد از رنگ‌بری

شاخص مقاومت به ترکیدن

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین شاخص مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذهای خالص سه گونه مختلف در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و آزمون دانکن مقادیر اندازه‌گیری شده را در ۴ گروه مستقل مختلف قرار داده است. نتایج حاصل از بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص مقاومت به ترکیدن مربوط به گونه صنوبر و کمترین آن مربوط به گونه راش می‌باشد (شکل ۳). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت به ترکیدن قبل و بعد از رنگ‌بری، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. اثر تیمار RB نسبت به تیمار BR بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ مخلوط گونه‌ها (۴۰٪ صنوبر، ۱۵٪ راش و ۴۵٪ ممرز) در مقایسه با خمیرکاغذ تهیه‌شده از گونه‌های خالص معنی‌دار نمی‌باشد، اما تیمار RB باعث افزایش بیشتر شاخص مقاومت به ترکیدن شده است. مقاومت به ترکیدن ازجمله مقاومت‌هایی است که به میزان پیوند الیاف بستگی دارد. به این معنی که هرچقدر الیاف انعطاف‌پذیرتر باشند، به دلیل ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر، پیوند بین الیاف افزایش یافته، در نتیجه مقاومت کاغذ در برابر ترکیدن افزایش می‌یابد. عوامل مؤثر بر مقاومت به پاره شدن شامل طول الیاف، تعداد الیافی که در پاره شدن کاغذ دخالت دارند، تعداد اتصالات بین الیاف و مقاومت اتصالات می‌باشد (Afra, 2005). بنابراین به نظر می‌رسد الیاف پس از مرحله رنگ‌بری از نظر وجود لیگنین برای مرحله پالایش آماده‌تر شده و پس از پالایش به دلیل تقویت اتصالات بین الیاف، شاخص ترکیدن را افزایش

Archive
www.SID.ir

داده است.



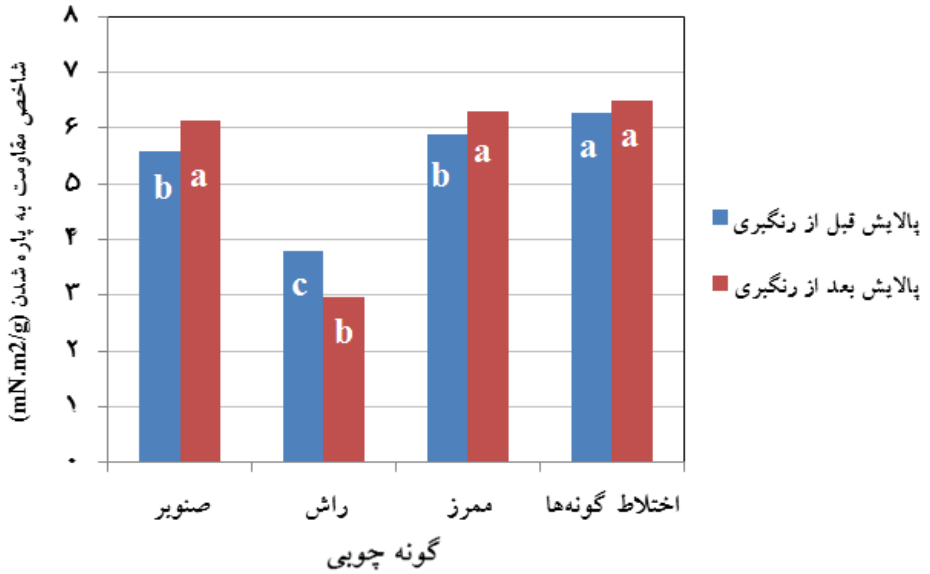
شکل ۳- اثر گونه چوبی بر شاخص ترکیدن خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی پالایش‌شده قبل و بعد از رنگ‌بری

شاخص مقاومت به پارگی

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس نشان داد که بین شاخص مقاومت به پارگی خمیرکاغذها (مخلوط و خالص) در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد و آزمون دانکن میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری شده را در گروه‌های مستقل آماری قرار می‌دهد. بیشترین شاخص مقاومت به پارگی مربوط به خمیرکاغذ مخلوط گونه‌ها و کمترین آن مربوط به گونه راش می‌باشد که البته اختلاف معنی‌داری با خمیرکاغذ خالص ممرز و صنوبر نداشته و در گروه a قرار می‌گیرند (شکل ۴). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین مقادیر شاخص مقاومت به پارگی در تیمارهای RB نسبت به تیمار BR اختلاف معنی‌داری وجود ندارد، اما تیمارهای RB باعث بهبود شاخص مقاومت به پارگی شده است. مقاومت به پاره شدن کاغذ تحت تأثیر طول و تا حدودی سطح پیوند بین الیاف بوده و با افزایش این دو عامل مقاومت به پاره شدن افزایش می‌یابد (Afra, 2005). افزایش درصد مصرف صنوبر میزان شاخص مقاومت به پاره شدن خمیرکاغذهای حاصل را افزایش می‌دهد که احتمالاً دلیل آن ضریب انطاف‌پذیری زیاد صنوبر و در کنار آن کم بودن میزان لیگنین و زیاد بودن میزان سلولز صنوبر در مقایسه با گونه‌های دیگر است؛ زیرا این ویژگی‌ها می‌توانند با افزایش سطح و میزان پیوند بین الیاف، شاخص مقاومت به پارگی خمیرکاغذهای حاصل را افزایش دهند (Sixta, 2006).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴- اثر گونه چوبی بر شاخص پاره شدن خمیرکاغذ شیمیایی-مکانیکی پالایش‌شده قبل و بعد از رنگ‌بری

روشنی

بین میانگین درجه روشنی خمیرکاغذهای خالص و مخلوط گونه‌های مختلف، قبل و بعد از رنگ‌بری برای تیمار BR در سطح اطمینان ۹۹ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. آزمون دانکن میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده روشنی قبل و بعد از رنگ‌بری را در گروه‌های مستقل قرار داده است (شکل ۵). نتایج حاصل نشان داد که بیشترین درجه روشنی مربوط به گونه صنوبر و کمترین آن مربوط به گونه راش می‌باشد اما اختلاف معنی‌داری از این نظر بین گونه صنوبر و ممرز وجود ندارد و میانگین روشنی هر دو خمیرکاغذ خالص در گروه a قرار می‌گیرد. این در حالی است که بین میانگین روشنی قبل از رنگ‌بری این دو گونه اختلاف معنی‌دار است، یعنی رنگ‌بری گونه ممرز با شرایط ثابت اعمال شده برای همه خمیرها نسبت به گونه صنوبر آسان‌تر است. کاهش روشنی خمیرکاغذ تهیه‌شده از مخلوط گونه‌ها باتوجه به حد روشنی قابل قبول برای کاغذ روزنامه (حدود ۵۵ درصد ایزو)، نشان‌دهنده لزوم افزودن خمیرکاغذ الیاف بلند سفید می‌باشد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، تفاوت در درجه روشنی می‌تواند به عواملی مانند مقدار لیگنین مرتبط باشد؛ مثلاً میزان لیگنین و سلولز گونه راش نسبت به گونه‌های دیگر کمتر بوده و این امر موجب کاهش درجه روشنی شده است. بنابراین می‌توان دریافت که پراکسید هیدروژن علاوه بر رنگ‌بری بیشتر خمیرکاغذ سبب جلوگیری از واکنش‌های زرد شدن در فرایند شده است؛ زیرا با تیمار BR درجه روشنی افزایش و میزان زردی کاهش یافته است (Bajpai, 2012).

ماتی

درصد ماتی خمیرهای کاغذ خالص و مخلوط به‌طور معنی‌داری بعد از رنگ‌بری کاهش یافته است (شکل ۶). خمیرکاغذ خالص تهیه‌شده از گونه راش، قبل و بعد از رنگ‌بری دارای بیشترین ماتی نسبت به سایر خمیرهای کاغذ می‌باشد و کمترین ماتی قبل از رنگ‌بری مربوط به خمیرکاغذ خالص گونه صنوبر است. ماتی خمیرکاغذ با افزایش سطح پیوند و دانسیته کاغذ که موجب کاهش تفرق نور می‌شود، کاهش می‌یابد (Sixta, 2006). میزان سطح اتصال و پیوند الیاف با افزایش درصد سلولز و همچنین انعطاف‌پذیری الیاف افزایش می‌یابد (Sixta, 2006; Afra, 2005) که درنتیجه، حداقل درصد ماتی خمیرکاغذ خالص تهیه‌شده از گونه صنوبر می‌تواند به این دلیل باشد. الیاف

Archive of SID

www.SID.ir

صنوبر از ضریب انطاف‌پذیری و درصد سلولز زیاد و لیگنین کمی برخوردار بوده که این امر قابلیت الیاف این گونه را برای افزایش سطح پیوند و کاهش تفرق نور افزایش داده، در نتیجه ماتی کاهش پیدا می‌کند. با کاهش طول و افزایش سطح ویژه الیاف، میزان ماتی کاغذ در نتیجه افزایش درصد پراکنش نور افزایش می‌یابد (Sixta, 2006; Afra, 2005). برای رسیدن به حد مجاز ماتی (۹۰٪) در کاغذ روزنامه، استفاده از مواد پرکننده معدنی مثل کربنات سدیم و کائولن مشروط بر عدم کاهش مقاومت‌های کاغذ از حد مجاز در صنایع کاغذسازی مطرح است.

شکل ۵- اثر گونه چوبی بر روشنی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی پالایش‌شده قبل و بعد از رنگبری (BR)

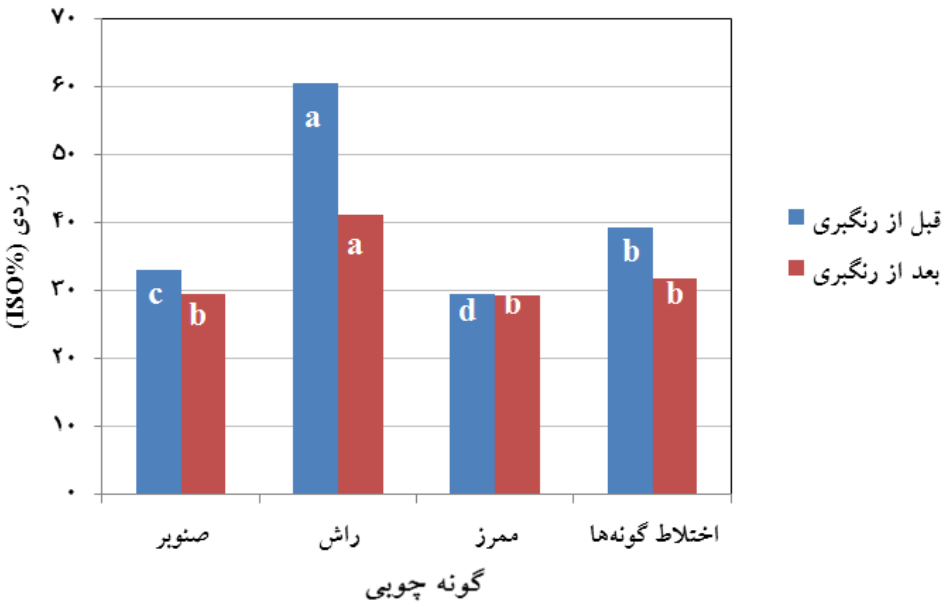
شکل ۶- اثر گونه چوبی بر ماتی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی پالایش‌شده قبل و بعد از رنگبری (BR)

زردی

شکل ۷ نشان می‌دهد که زردی قبل از رنگبری خمیرکاغذ خالص گونه راش دارای بیشترین مقدار و گونه ممرز دارای کمترین مقدار است و اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین میانگین زردی خمیرهای کاغذ وجود دارد. پس از رنگبری، میانگین زردی خمیرکاغذ

www.SID.ir

خالص صنوبر و ممرز و نیز خمیرکاغذ مخلوط گونه‌ها به هم نزدیک شده، به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد و طبق گروه‌بندی دانکن در گروه مستقل a قرار می‌گیرند. این موضوع پاسخ متفاوت این خمیرها را به رنگ‌بری با پراکسید هیدروژن با وجود اختلاف آماری بین خمیرکاغذ رنگ‌بری نشده آنها نشان می‌دهد. با افزایش زمان پخت، میزان تشکیل گروه‌های رنگ‌ساز موجود در ساختار لیگنین افزایش یافته که این امر می‌تواند سبب افزایش زردی و کاهش درصد روشنی خمیرکاغذ شود (Sixta, 2006).



شکل ۷- اثر گونه چوبی بر زردی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی پالایش‌شده قبل و بعد از رنگ‌بری (BR)

بحث

این تحقیق با هدف مقایسه توالی دو تیمار پالایش و رنگ‌بری برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی خالص و مخلوط سه گونه صنوبر، راش و ممرز بر اساس ارزیابی ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز حاصل از آنها انجام شد. نتایج نشان داد که غیر از خمیرکاغذ خالص گونه راش، استفاده از تیمار BR در مقایسه با تیمار RB می‌تواند خمیرکاغذی با مقاومت‌های بهتر تولید کند. خمیرکاغذ خالص تهیه‌شده از گونه صنوبر و بعدازآن خمیرکاغذ مخلوط گونه‌ها دارای مناسب‌ترین مقاومت‌ها می‌باشند و برعکس خمیرکاغذ خالص گونه راش دارای پایین‌ترین مقاومت‌هاست.

خمیرکاغذ خالص تهیه‌شده از گونه‌های ممرز و صنوبر از نظر ویژگی‌های نوری مشابه بوده و به‌جز روشنی با خمیرکاغذ مخلوط گونه‌ها اختلاف معنی‌داری با هم ندارند. باتوجه به محدودیت برداشت چوب گونه‌های جنگلی، به نظر می‌رسد که افزایش سهم چوب صنوبر به‌عنوان یک‌گونه سریع‌الرشد، علاوه بر تأمین ویژگی‌های مورد نیاز کاغذ روزنامه، می‌تواند نقش ارزنده‌ای در کمبود چوب شرکت چوب و کاغذ ایفا نماید. بدیهی است که استفاده از الیاف بلند و نیز پرکننده‌های معدنی که به‌صورت متداول در خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی مرسوم است نیز می‌تواند ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذ ساخته شده را بهبود بخشیده و ویژگی‌های موردنیاز کاغذ روزنامه را بر اساس مقادیر مجاز استاندارد ارتقاء بخشد.

Archive

www.SID.ir

منابع مورداستفاده

- Afra, E., 2005. Properties of paper an introduction, Aiij Publications.392 pages. (Translated In Persian)
- Goli, M., Asadpour, G. and Saeid M., 2015. A Barimani Effect of birch wood mixing on optical and mechanical properties of CMP pulp produced from forest species wood Iranian journal of sciences and technical natural resources), 30(4):662-673. (In Persian)
- Kokta, B.V. and Ahmed, A., 1998. Steam explosion pulping, Derevarsky-Vyskum, 127:23-39. ISBN 0-471-15770-8.
- Mohta, D.C., Roy, D.N. and Whiting, P., 2003. Bleaching study of kenaf mechanical pulps. Tappi journal. 2:8. 29-31.
- Pan, G.X., 2003. Pulp yield loss in alkaline peroxide bleaching of aspen CTMP Part 1: Estimation and impacts. Tappi journal. 2:9:27-31.
- Wang, Z., Chen, K., Li, J., Xu, J., Liu, Y. and Han, W., 2009. Totally Chlorine Free Bleaching of Bagasse Soda Pulp, China Pulp Pap. 28(12):1–4

-Smook, G.A., 2001. Handbook of Pulp & paper technologists (3rd Edition). Angus Wilde Publications, Inc.; 3rd edition (March 1, 2003).

-Goli, M., Asadpour, G. and Saeid M., 2015. Investigation on imported aspen admixture with two hardwoods native forest species for CMP pulping. Journal of wood & forest sciences & technology, 6(2):275-284. (In Persian)

-Bajpai, P., 2012. Environmentally Benign Approaches for Pulp Bleaching (Second Edition). ISBN: 978-0-444-59421-1, Elsevier, 400 pages.

-Akkemik, U. and Yaman, B., 2012. Wood anatomy of eastern Mediterranean species, Kessel publishing house- Germany, 31 pages.

-Ghasemian, A. and Khalili, A., 2011. Principle and methods of paper recycle. Tehran: Aiij press, 184 pages. (In Persian)

-Goli, M., Zabihzadeh, S.M. and Asadpour, G., 2013. Effect of species mixing on chemimechanical pulp properties, M.Sc. thesis, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources 93 p.

-Hoseinzadeh, A., Gholamnezhad, M. and Veysi, R., 2011. Investigation the effects of Salix alba wood on the some optical and mechanical properties of newspaper from chemical mechanical pulp (case study: Mazandaran wood and paper industrial), Iranian journal of sciences and technical natural resources), 6(2):89-103. (In Persian)

-Huda, A.A., Koubaa, A., Cloutier, A., Hernandez, R.E. and Pierre, P., 2012. Anatomical properties of selected hybrid poplar clones growth in southern quebec, BioResources, 7(3):3779-3799.

-Kiaei, M., 2011. Basic density and fiber biometry properties of Hornbeam wood in three different altitudes at Age 12, middle-east, Journal of scientific research, 8(3):663-668.

-Lu, J., Chorney, M. and Peterson, L., 2009. Sustainable trailer flooring, BioResources, 4(2):835-849.

-Ministry of Agrigultue,Forestry and CountryPasture,Technical office forestry,year 1989 Modares University. (In Persian)

-Sixta, H., 2006. Handbook of paper and board, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA. 1369 pages.

-Ugurlua, M., Gurses, A., Dogar, C. and Yalcın, M., 2008. The removal of lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation. Journal of Environmental Management, 87(3), 420–428.

-Zeinaly, A., Resalati, H. and Tasooji, M., 2011. Investigation effect of using woods of Hornbeam & Beech in compound of hardwood stems wood mixture on CMP pulp properties, Journal of wood & forest sciences & technology, 18(1):77-90. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir

Determination the optimum chemi-mechanical pulping and bleaching conditions for three hardwood species and evaluation of its papers

M. Goli[1*] and S. Mahdavi [2]

1*-Corresponding author, M.Sc., graduate in pulp and Paper industry, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, Email: goli.me2020@gmail.com

2-Associate prof., Wood and Forest Products Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: May, 2017 Accepted: Jan., 2018

Abstract

In recent years, environmental problems of irregular wood harvesting and shortages of raw materials made wood and paper industry and country to be faced with serious crises. Some researchers and industry experts have been led to fundamental and long-term solution for supplying raw materials to these industries. The present study aimed to determine the optimum conditions of pulping and bleaching for three hardwood forest species (as a separate cooking & combined with 40% popular, 15% beech and 45% hornbeam) and paper evaluation. After preparing CMP at yield of 85%, applying cooking times (25-60 minutes, temperature of 170 °C, the ratio of L : W of 7 : 1 hand sheet with standard grammage of 60 g/m2 were made, Optical and mechanical properties of paper was evaluated. The results showed that, poplar wood were better in terms of total properties with mechanical and optical properties. Also in bleaching stage, the tensile strength index is decreased and burst and tear strength index was improved. The maximum initial brightness was related to poplar species wood and the beech wood had the lowest values. The opacity and yellowness either pure or combined wood pulps were decreased.

Keywords: Hardwood forest species, shortages of raw materials, CMP, optical and mechanical properties.

Archive of SID

www.SID.ir